



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**"ESTUDIO DEL PROCESO DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES
INDUSTRIALES PROVENIENTES DE EMPRESAS MINERAS."**

TESIS DE GRADO
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

Egdo. Juan Patricio Pesántez Vallejo

DIRECTORA:

Ing. Silvia Alexandra Peña González MSc

COORDINADOR:

Ing. Jorge Alejandro García Zumalacarregui MSc

Cuenca - Ecuador

2014

RESUMEN

Esta tesis ha sido realizada con la finalidad de estudiar un sistema de reducción de contaminantes de aguas residuales de procesos de cianuración de empresas mineras, brindando conocimientos reales sobre las posibilidades de aplicación de este tipo de tratamiento a sus efluentes. Para este fin se extrajo agua de una piscina de disposición de aguas residuales de una empresa minera hacia una planta piloto que ha sido construida para su estudio. El sistema que se implementó mediante un sistema de humedales naturales de flujo sub-superficial horizontal, discontinuo, mediante la especie *Thypha Latifolia*, en el cual se realizó muestreo a la entrada y salida para analizar porcentajes de reducción de metales y otros parámetros contaminantes presentes en estas aguas. Con el desarrollo del trabajo se dio cumplimiento a los objetivos de este trabajo evidenciando parámetros de reducción de los diferentes parámetros estudiados entre ellos: sólidos disueltos de 18.81%, sólidos suspendidos 62.48%, sólidos totales 32.89%, cianuro 29.17%, sulfuro 37.47%, cobre 32.79% y arsénico 11.17%. También se analizó la capacidad neutralizante del sistema logrando en todos los casos de estudio una reducción del pH a valores muy cercanos a 7 unidades.

Palabras clave: humedal construido, tratamiento de aguas residuales, cianuro, minería de oro.

ABSTRACT

This thesis has been performed in order to study a system to reduce wastewater pollutants from the processes of cyanidation in mining companies, which would provide insight knowledge of the possibilities of the use of this type of effluent treatment. For this purpose of this study, a water sample from wastewater disposal of a mining company was drawn into a pilot plant, which was built for the study. The process was implemented through a system of natural wetlands of horizontal subsurface flow, batch, sort through *Thypa Latifolia*, in which the sampling was performed at beginning and at the end in order to analyze the percentage reduction in metals and other pollutants parameters in these waters. Through the development of the study, the objectives to show the reduction of the pollutants was achieved which was shown in the reduction factors of the different parameters studied including: 18.81% dissolved solids, 62.48% suspended solids, 32.89% total solids, 29.17% cyanide, 37.47% sulfur, 32.79% copper and 11.17% arsenic. Moreover, it was also analyze the neutralizing capacity, achieving a reduction of pH to very near 7 units values system in all the cases.

Keywords: constructed wetland, wastewater treatment, cyanide, gold mining.

CONTENIDO

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
CONTENIDO	4
ÍNDICE DE FOTOS	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE GRÁFICOS	10
CLÁUSULA DE DERECHOS DE AUTOR	12
CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL.....	13
DEDICATORIA	14
AGRADECIMIENTOS.....	15
CAPITULO I.....	16
1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS	16
1.1. Antecedentes.....	16
1.2. Identificación del problema	18
1.3. Justificación	19
1.4. Objetivos.....	20
1.4.1. Objetivo general	20
1.4.2. Objetivos específicos	20
1.5. Hipótesis	20
CAPITULO II.....	21
2. RESEÑA BIBLIOGRÁFICA	21
2.1. Contaminación. Tipos y Efectos de la Contaminación en las Aguas21	
2.1.1. Origen de la Contaminación.....	21
2.1.2. Tipos de Contaminación del Agua.....	22
2.1.3. Efectos de la Contaminación.....	22

2.2. Elementos contaminantes de aguas residuales industriales de minería.....	23
2.2.1. Cianuro.....	23
2.2.2. Azufre (Sulfuros)	23
2.2.3. Arsénico	24
2.2.4. Cobre	24
2.3. Toxicidad de metales pesados	25
2.4. Tratamientos Naturales de Aguas Residuales; Tratamiento Secundario y Terciario. Conocimientos Generales.....	26
2.4.1. Tratamiento Secundario	27
2.4.2. Tratamiento terciario	28
2.5. Generalidades de los Humedales	28
2.5.1. ¿Por qué los humedales?	29
2.5.2. Plantas Acuáticas Emergentes	32
2.5.3. Tipos o regímenes de Flujo Imperante en los Humedales	34
2.6. Tiempo de Retención.....	36
2.7. Remoción de metales pesados mediante sistemas naturales	36
2.7.1. Tipos de proceso llevados a cabo en las plantas por zonas (Frers, 2008):.....	37
2.7.2. Procesos de remoción físicos	38
2.7.3. Procesos de remoción biológicos.....	39
2.7.4. Procesos de remoción químicos	39
2.8. Criterios de Diseño. Parámetros de Diseño	40
2.8.1. Profundidad	40
2.8.2. Área de la Sección Transversal.....	41
2.8.3. Área Superficial. Modelos Matemáticos empleados.....	43
2.8.4. Relación Largo- Ancho.....	46

2.9. Legislación sobre efluentes líquidos	46
2.10. Estado del arte	47
CAPITULO III	49
3. MATERIALES Y MÉTODOS	49
3.1. Situación geográfica del proyecto	49
3.2. Descripción del sistema de tratamiento	51
3.3. Muestreo y preservación de la muestra	56
3.3.1. Determinación de la conductividad.....	58
3.3.2. Determinación de sólidos totales, sedimentables, totales disueltos y suspendidos totales.....	58
3.3.3. pH.....	59
3.3.4. Cianuro libre	59
3.3.5. Cobre	60
3.3.6. Arsénico	60
3.3.7. Sulfuros	61
CAPITULO IV.....	62
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	62
4.1. Análisis de resultados	62
4.1.1. Análisis de la conductividad	64
4.1.2. Análisis de sólidos disueltos.....	66
4.1.3. Análisis de sólidos suspendidos.....	68
4.1.4. Análisis de sólidos totales	70
4.1.5. Análisis de sólidos sedimentables.....	72
4.1.6. Análisis de pH	73
4.1.7. Análisis de Cianuro libre.....	74
4.1.8. Análisis de Sulfuro.....	77
4.1.9. Análisis de Cobre	79

4.1.10. Análisis de Arsénico.....	81
4.2. Comparación con la norma TULSMA	83
4.2.1. Conductividad	83
4.2.2. Sólidos disueltos	83
4.2.3. Sólidos suspendidos	83
4.2.4. Sólidos totales.....	84
4.2.5. Sólidos sedimentables	85
4.2.6. Potencial hidrogeno.....	86
4.2.7. Cianuro libre.....	87
4.2.8. Sulfuro.....	88
4.2.9. Cobre	89
4.2.10. Arsénico.....	90
CAPITULO V.....	92
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
5.1. Conclusiones	92
5.2. Recomendaciones	95
BIBLIOGRAFÍA.....	96
ANEXOS.....	100

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Piscina de disposición de residuos	50
Foto 2. Bomba para extracción de agua	51
Foto 3. Método de entrada de afluente al sistema	53
Foto 4. Izquierda: Planta extraída. Derecha: lugar de extracción de la planta	54
Foto 5. Ingreso del agua al sistema mediante manguera en forma de flauta	104
Foto 6. Etiquetado de muestras	104
Foto 7. Recolección de muestras a la entrada	105
Foto 8. Recolección de muestras a la salida	105
Foto 9. Vista frontal del sistema de tratamiento	106
Foto 10. Manguera para transporte de agua de la bomba al humedal	106
Foto 11. Tanque de almacenamiento de afluentes para tratamiento	107
Foto 12. Resultados de los análisis: entrada primer muestreo, entrada segundo muestreo	108
Foto 13. Resultados de los análisis: salida primer muestreo	109
Foto 14. Resultados de los análisis: salida segundo muestreo, entrada tercer muestreo	110
Foto 15. Resultados de los análisis: salida tercer muestreo, entrada cuarto muestreo	111
Foto 16. Resultados de los análisis: entrada cuarto muestreo, entrada quinto muestreo	112
Foto 17. Resultados de los análisis: salida segundo muestreo	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	46
Tabla 2. Monitoreo de tratamiento de agua, fechas y campañas de monitoreo	57
Tabla 3. Reducción de contaminante por concentración	63
Tabla 4. Porcentajes de reducción de conductividad	65
Tabla 5. Porcentajes de reducción de sólidos disueltos	67
Tabla 6. Porcentajes de reducción de sólidos suspendidos	69
Tabla 7. Porcentajes de reducción de sólidos totales	71
Tabla 8. Porcentajes de reducción de cianuro libre	75
Tabla 9. Porcentajes de reducción de sulfuro	78
Tabla 10. Porcentajes de reducción de cobre	80
Tabla 11. Porcentajes de reducción de arsénico	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Procesos de depuración de los humedales artificiales.	31
Figura 2. Esquema de una planta típica	33
Figura 3. Sistema de Flujo Sub superficial Horizontal.....	34
Figura 4. Sistema de Flujo Superficial Horizontal	36
Figura 5. Zonas de la planta con su respectivo proceso	38
Figura 6. Ubicación de la Planta y piscina de disposición de residuos	50
Figura 7. Vista superior de la planta de tratamiento.....	52
Figura 8. Vista lateral del sistema de tratamiento	52
Figura 9. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento.....	55

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Reducción de la conductividad (concentración)	64
Gráfico 2. Reducción de conductividad.....	65
Gráfico 3. Reducción de sólidos disueltos (concentración).....	66
Gráfico 4. Reducción de sólidos disueltos	67
Gráfico 5. Reducción de sólidos suspendidos (concentración).....	68
Gráfico 6. Reducción de sólidos suspendidos	70
Gráfico 7. Reducción de sólidos totales (Concentración)	71
Gráfico 8. Reducción de sólidos totales.....	72
Gráfico 9. Reducción de sólidos sedimentables (Concentración)	73
Gráfico 10. Reducción de pH (Valores)	74
Gráfico 11. Reducción de cianuro libre (Concentración).....	75
Gráfico 12. Reducción de cianuro libre	76
Gráfico 13. Reducción de sulfuro (Concentración)	77
Gráfico 14. Reducción de sulfuro.....	79
Gráfico 15. Reducción de cobre (Concentración)	80
Gráfico 16. Reducción de cobre.....	81
Gráfico 17. Reducción de arsénico (Concentración).....	82
Gráfico 18. Reducción de arsénico	83
Gráfico 19. Comparación de los valores de sólidos suspendidos con el TULSMA	84
Gráfico 20. Comparación de los valores de sólidos totales con el TULSMA	85
Gráfico 21. Comparación de los valores de sólidos sedimentables con el TULSMA	86
Gráfico 22. Comparación valores de pH con el TULSMA	87
Gráfico 23. Comparación valores de cianuro libre con el TULSMA	88
Gráfico 24. Comparación valores de sulfuro con el TULSMA	89



Gráfico 25. Comparación valores de cobre con el TULSMA.....	90
Gráfico 26. Comparación valores de arsénico con el TULSMA	91

CLÁUSULA DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Juan Patricio Pesántez Vallejo, autor de la tesis "ESTUDIO DEL PROCESO DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES PROVENIENTES DE EMPRESAS MINERAS.", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Ambiental. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 28 de agosto de 2014



Juan Patricio Pesántez Vallejo

C.I: 010489453-0

CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Yo, Juan Patricio Pesántez Vallejo, autor de la tesis "ESTUDIO DEL PROCESO DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES PROVENIENTES DE EMPRESAS MINERAS.", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 28 de agosto de 2014



Juan Patricio Pesántez Vallejo

C.I: 010489453-0

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios y a mis padres que me han dado la vida y constante apoyo durante la misma, permitiéndome llegar a este momento tan importante de mi formación personal. A Mishel y mi hija Isabella que han sido mi inspiración y apoyo para culminar de la mejor manera este trabajo. A mis hermanas Valeria y Emily por su apoyo constante e incondicional durante toda mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser mi apoyo y fortaleza durante toda mi vida.

A mis padres que de la mejor manera han estado junto a mí para apoyarme durante mis estudios y toda mi vida.

A Mishel y mi hija Isabella que han estado junto a mí en buenos y malos momentos durante la realización de este trabajo.

Al Codirector de Tesis, Ing. Jorge García, que a pesar de su demandante trabajo en la Universidad de Cuenca, compartió todos sus conocimientos para la realización de este trabajo, siendo un pilar fundamental para la culminación del mismo.

A la empresa COMINCOBOS S.A. que ha brindado apoyo constante para que se pueda realizar de la manera más eficiente este estudio.

Finalmente a todas las personas que de una u otra manera hicieron posible la finalización de este trabajo.

CAPITULO I

1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

1.1. Antecedentes

El agua es un recurso indispensable, sin ella no sería posible la vida en el planeta, jugando un rol fundamental en la vida cotidiana del hombre desde su consumo para alimentación y aseo, hasta su utilización para producción de energía eléctrica que se ha vuelto fundamental en nuestra vida diaria. Este es un recurso que existe en gran cantidad en el planeta representando las tres cuartas partes de la superficie del mismo pero el problema no radica en la cantidad de agua del planeta sino en la cantidad de agua de calidad disponible ya que solo un 3% del total de agua del planeta es dulce y de este porcentaje el 1% representa el agua dulce superficial y del cual una pequeña cantidad representa el agua dulce consumible para el ser humano (“Agua potable,” n.d.).

Dentro de la industria el recurso agua juega un rol fundamental llegando incluso en países ricos a representar el 50% de toda el agua consumida (“Agua potable,” n.d.), en la industria minera el agua es el medio escogido por excelencia para llevar a cabo todos sus procesos utilizando grandes volúmenes de los cuales parte de estos pueden ser reutilizados y otra gran parte de los mismos es imposible de reintegrarlos al medio sin antes recibir un tratamiento especial efectivo para reducir sus altos niveles de toxicidad.

La minería artesanal en Ponce Enríquez, Azuay-Ecuador es un problema que ha venido afectando el medio desde inicios de los 80s, con Mercurio (Hg), Arsénico (As), Cobre (Cu), Zinc (Zn); elementos relacionados específicamente con la extracción del oro. Esto ocurre principalmente por la dispersión de los desechos de la minería por el medio fluvial llegando estos a contaminar mucha área: cultivos, ríos y bosques de la zona (Appleton, Williams, Orbea, & Carrasco, 2001). Actualmente el uso de tecnologías más avanzadas como cianuración, flotación, electrolisis está llevando a la mejora de los procesos de extracción de oro y a la preocupación de todos los involucrados en la preservación y mejora del medio, incluyendo incluso personal calificado para este fin entre los trabajadores de la empresa.

“COMINCOBOS S.A.” constituye una empresa minera la cual se encuentra funcionando en la provincia del Azuay, en el cantón Ponce Enríquez, sector Bella Rica. Por el periodo de dos años se dedica a la extracción de oro de lodos de minas mediante dos procesos; cianuración y el método de Merrill Crowe. Como resultado de estos procesos se obtiene por una parte, una mezcla de carbón y oro que será enviado posteriormente a otras empresas para que sea finalmente extraído el oro para comercialización, por otra parte, se generan residuos líquidos los cuales son almacenados en tanques o dispositivos similares; esta parte líquida es posteriormente analizada y si es lo suficientemente rica en oro, regresa al tratamiento. En el caso de que la concentración de oro no sea la suficiente esta será enviada a piscinas de almacenamiento permanente de estos residuos. Es importante señalar que, esta agua contiene concentraciones de cianuro del orden de hasta los 10 mg/L de cianuro libre, valores que se encuentran muy por encima de los permitidos en la legislación del TULSMA del Ecuador la cual plantea un valor máximo permisible de 0.1 ppm (Ver, Anexo 1).

Precisamente por el crecimiento de volúmenes de residuos y la necesidad de la disponibilidad de espacio para la ubicación de los mismos, ha generado una alarma en la empresa, creciendo la preocupación en la

entidad y estableciendo la necesidad de buscar algún tipo de tratamiento in situ a estos residuos y ajustable a las capacidades de la misma.

1.2. Identificación del problema

En la empresa se lleva a cabo un proceso sencillo de cianuración para el cual primero se tritura y muele el material para mezclarlo con el agua, luego se pasa el agua a tanques donde se añade cal (CaO), hasta llegar a un pH óptimo (10.5 - 11), condición base para la adición de Cianuro, posteriormente y dependiendo de la riqueza del material se añade el carbón activado donde se quedara el oro. De este proceso se obtiene un carbón activado rico en oro, el cual será llevado a otra empresa que tenga la tecnología para extraer mineral y por supuesto, efluente que podrá ser recirculado de nuevo al proceso o irá a una piscina para su disposición final. Esta piscina tiene elementos muy tóxicos para el medio como cianuro, sulfuros, algunos metales peligrosos tales como: Arsénico (As) y Cobre (Cu).

Los volúmenes de agua que se generan en estos procesos y los altos contenidos de contaminantes podrían desencadenar una serie de efectos muy perjudiciales en el medio biológico, acuático y terrestre de la zona, su bio-acumulación en la mayoría de organismos vivos es científicamente demostrado que tiene efectos secundarios negativos a la salud humana y al ecosistema en general. Enfermedades carcinógenas entre otras afectarían la calidad de vida de la población que sería afectada directa o indirectamente con estos vertidos.

La gran cantidad de efluentes generados hacen necesaria la búsqueda permanente de lugares amplios para su disposición. Contaminantes que, debido a su técnica de tratamiento quedaran por una buena cantidad de tiempo almacenados, creando un sitio peligroso y altamente contaminado por la cantidad de compuestos químicos que alberga.

En muchos casos el tratamiento de este tipo de efluentes hace necesaria tecnología avanzada y recursos económicos altos lo que hace que las empresas pierdan interés por los mismos y continúen en este ciclo de contaminación. Esta situación imperante es precisamente, lo que nos motiva a buscar un tratamiento que en primer lugar sea medioambientalmente viable y ajustable a la economía de este tipo de entidades, que se ajuste a diversos factores climatológicos de la zona como temperatura, humedad, relieve, etc., y por último que sea atractivo para las empresas, la aplicación de estos sistemas o técnicas de tratamiento para mejorar los procedimientos de depuración de sus efluentes contribuyendo de esta manera a la preservación del medio, y la mejora de la calidad de vida de la población. Cumpliendo con los principios fundamentales del Buen Vivir establecidos en la Constitución de la Republica.

1.3. Justificación

Este trabajo tiene como finalidad investigar la depuración de ciertos contaminantes (cianuro, sulfuros, arsénico y cobre), o residuos que resultan perjudiciales para el medio a través de un sistema biológico de tratamiento de aguas residuales y verificar si la eficiencia en la remoción de tóxicos nos permite disponer el efluente del proceso con concentraciones que se encuentren cumpliendo con la legislación vigente, (ver, Anexo 1) o en el peor de los casos acercarse a los mismos.

Éste, es un estudio que no sólo beneficiará a la Empresa Minera, por la posibilidad de mejorar su tratamiento y disposición de residuos, sino a la comunidad y país en general ya que podrá continuar con su actividad laboral como empresa comprometiendo de la menor manera posible el ambiente del cual todos somos parte.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Estudiar el proceso de depuración de aguas residuales con medianas concentraciones de cianuros provenientes de empresas mineras.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar el proceso de remoción de los humedales con flujo sub-superficial horizontal en el tratamiento de las aguas residuales de procesos industriales.
- Proporcionar conocimientos sobre las posibilidades reales de depuración de las aguas residuales industriales en sistemas naturales situados en climas templados Andinos.

1.5. Hipótesis

La aplicación de este sistema de tratamiento de humedales naturales de flujo sub-superficial horizontal disminuirá considerablemente la cantidad de contaminantes presentes en estas aguas mejorando la calidad de las mismas.

CAPITULO II

2. RESEÑA BIBLIOGRÁFICA

2.1. Contaminación. Tipos y Efectos de la Contaminación en las Aguas

2.1.1. Origen de la Contaminación

Existen dos vías fundamentales de contaminación y que se deben distinguir; la vía natural y la de origen antropológico.

- **Contaminación natural:** Es la que existe siempre; originada por restos de animales, vegetales, minerales y sustancias que se disuelven cuando los cuerpos de agua atraviesan diferentes terrenos.
- **Contaminación de origen antropológico:** Aparece conjuntamente con la interacción del hombre con el medio ambiente y es consecuencia de la inadecuada aglomeración de poblaciones, del aumento desmesurado y sin control alguno de las industrias y prácticas agrícolas no controladas.

2.1.2. Tipos de Contaminación del Agua

Existen tres tipos de contaminación: física, química y biológica; todas ellas se originan por las descargas de desechos líquidos o sólidos en el agua:

- Las alteraciones físicas corresponden a variaciones en la calidad natural de las aguas influyendo en parámetros como color, olor, turbidez, sabor, temperatura, conductividad, etc.
- Las alteraciones químicas pueden ser de origen orgánico e inorgánico; algunos de los principales contaminantes químicos son la materia orgánica, proteínas, hidratos de carbono, grasas, aceites, agentes tensoactivos, contaminantes prioritales, compuestos orgánicos volátiles, pesticidas y productos químicos de uso agrícola (Metcalf and Eddy, 1995).
- Las alteraciones biológicas se ocasionan, entre otras razones, por la presencia de microorganismos patógenos.

2.1.3. Efectos de la Contaminación

Los efectos de la contaminación son muy diversos y dependen del elemento contaminante, pero entre los más comunes pueden citarse:

- Disminución y/o desaparición de la vida acuática.
- Incremento de enfermedades hídricas (cólera, parasitosis, diarreas, hepatitis, fiebre tifoidea) o aparición de nuevas.
- Deterioro de la calidad de un curso de agua con fines recreativos (natación, buceo, surfing, pesca, navegación y otros).
- Ruptura del equilibrio ecológico (desaparición del hábitat de especies que constituían el alimento de otras).
- Costos elevados para potabilizar el agua.

2.2. Elementos contaminantes de aguas residuales industriales de minería

En la industria minera a nivel mundial y por ende en nuestro país se generan efluentes los cuales provienen de procesos químicos; principalmente del proceso de cianuración, esto se debe a que este método es el más utilizado en nuestro medio para sacar el oro de los lodos extraídos de las minas en este proceso se genera aguas residuales con contenido de cianuro, sulfuros, y metales que están presentes en los mismos dependiendo del lugar de donde sean extraídos siendo los más comunes: Arsénico (As), Cobre (Cu), Plata (Ag), y Plomo (Pb) de los cuales se hablara a continuación.

2.2.1. Cianuro

El cianuro es uno de los únicos agentes químicos que pueden disolver al oro una de las razones que hace a este metal tan caro. (Álvarez García, 2005)

El cianuro es un compuesto considerado altamente toxico que ha sido utilizado industrialmente desde hace mucho tiempo atrás principalmente en la fabricación de plásticos y derivados y otro pequeño pero significativo porcentaje en la industria minera. El cianuro también se encuentra presente en la naturaleza en diversos microorganismos, insectos y en el estado de crecimiento de muchas plantas como método de protección, también se encuentra presente en muchos alimentos como son las almendras, nueces, castañas, etc. El cianuro en la industria minera puede formar compuestos cianurados como son cianuro de sodio, de calcio o de potasio pero en este trabajo nos centraremos en el cianuro libre o ion cianuro CN^- que se disuelve en el agua del proceso como HCN (Ramírez, 2010).

2.2.2. Azufre (Sulfuros)

El azufre se encuentra combinado con muchos metales en forma de sulfuros si son insolubles en agua; por ejemplo, sulfuros de zinc, plomo, cobre y mercurio. En la extracción de estos metales de sus minerales de sulfuros, se obtiene como subproducto dióxido de azufre. Entre las fuentes importantes

de azufre se encuentran el petróleo crudo y el gas natural (G. F. LIPROT MA, 1974)

El azufre en las aguas residuales industriales está presente como sulfuros, procediendo casi siempre de la descomposición bacteriana de los sulfatos. Estos pueden llegar a ser muy tóxicos incluso en bajas concentraciones y poco tiempo de exposición.

2.2.3. Arsénico

El arsénico (As) es un metaloide que se encuentra como contaminante natural en muchos cursos de agua y napas de agua subterránea.

La toxicidad de los compuestos del arsénico varía considerablemente. Los compuestos inorgánicos son generalmente más tóxicos que los compuestos orgánicos. Ciertos derivados del arsénico son además carcinogénicos. Las intoxicaciones en el ambiente de trabajo juegan un papel particularmente importante. Los dos derivados más frecuentemente encontrados en el agua son As(III) y As (IV). (APHA, AWWA, & WPCF, 1992)

2.2.4. Cobre

El símbolo de este es Cu, es un metal de transición de color rojo, también es sumamente dúctil y maleable. Este metal no es muy abundante en la naturaleza se extrae principalmente de minerales como la malaquita($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$), cuprita (Cu_2O) y calcopirita (CuFeS_2); forma compuestos mono y divalentes el cobre es un excelente conductor de la electricidad de donde derivan muchas de sus aplicaciones también se usa para la fabricación de tuberías, moneda, equipos químicos y farmacéuticos, etc (G. F. LIPROT MA, 1974).

Las sales de Cu producen irritación en la piel, e incluso, dermatitis: en los ojos provocan conjuntivitis y ulceración de la córnea. así mismo, aunque se trata de un metal esencial para la vida, en dosis elevadas puede provocar anemia, irritación de estómago e intestino, y daños renales y hepáticos.

2.3. Toxicidad de metales pesados

Los seres vivos requieren un gran número de metales pesados para llevar a cabo sus reacciones metabólicas, si bien es cierto que sus necesidades se limitan a cantidades muy pequeñas, generalmente al nivel de trazas. Así mismo, no todos los metales pesados son nutricionalmente esenciales para una vida sana; sin embargo, algunos como el Fe, Cu, Co, Mn, Ni o Zn juega un papel importante sobre la calidad de vida, encontrándose, como elementos o en algunas de sus formas, en comestibles, frutas, vegetales o productos multivitamínicos.

Sin embargo hay que tener en cuenta que los metales pesados llegan a ser tóxicos cuando no son metabolizados por el cuerpo y se acumulan en los tejidos, tal y como se ha indicado anteriormente. Pueden incorporarse en el cuerpo humano a través de los alimentos, el agua, el aire, o la adsorción a través de la piel cuando entran en contacto con los seres humanos en agricultura y en procesos de fabricación, farmacéuticos e industriales. La exposición industrial se considera una ruta común de captación para los adultos, siendo la ingestión la ruta más común. Entre los mecanismos moleculares que determinan la toxicidad de los metales pesados se encuentran (Gema Cabrera Revuelta, 2005):

- Desplazamiento de iones metálicos esenciales de biomoléculas y bloqueo de sus grupos funcionales.
- Modificación de la conformación de enzimas y polinucleótidos.
- Ruptura e inhibición de biomoléculas.
- Modificación de otros agentes biológicamente activos.

La intoxicación por metales pesados dependerá no solamente de su concentración sino del tiempo de exposición y los factores bióticos y abióticos del ambiente.

2.4. Tratamientos Naturales de Aguas Residuales; Tratamiento Secundario y Terciario. Conocimientos Generales

El tratamiento de aguas residuales (agua residual, doméstica o industrial), es un proceso de tratamiento que a su vez incorpora procesos físicos, químicos y biológicos, los cuales tratan y remueven contaminantes físicos, químicos y biológicos del agua efluente del uso humano. Los esfuerzos para coleccionar y tratar las aguas residuales domésticas de la descarga están típicamente sujetos a regulaciones y estándares locales, estatales y federales (regulaciones y controles). El objetivo del tratamiento es producir agua ya limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente.

Típicamente, el tratamiento de aguas residuales es alcanzado por la separación física inicial de sólidos de la corriente de aguas domésticas o industriales, seguido por la transformación progresiva de material biológico usando bacterias adecuadas, generalmente presentes en estas aguas. Una vez que la masa biológica es separada o removida, el agua tratada puede experimentar una desinfección adicional mediante procesos físicos o químicos. Este efluente final puede ser descargado o reintroducido a un cuerpo de agua natural (corriente, río o bahía) u otro ambiente (terreno superficial o subsuelo), etc.

Estos procesos de tratamiento son típicamente referidos a un:

- Tratamiento primario (asentamiento de sólidos)
- Tratamiento secundario (tratamiento biológico de sólidos flotantes y sedimentados)
- Tratamiento terciario (pasos adicionales como lagunas, micro filtración o desinfección).

2.4.1. Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario es designado para substancialmente degradar el contenido orgánico biodegradable de las aguas residuales que se derivan de la basura humana, basura de comida, jabones y detergentes. La mayoría de las plantas municipales e industriales depuran las aguas residuales usando procesos biológicos aerobios y para que sea efectivo el proceso biótico se requiere oxígeno y un sustrato en el cual vivir. En todos los métodos utilizados para lograr este propósito las bacterias y los protozoarios consumen contaminantes orgánicos solubles biodegradables (por ejemplo: azúcares, grasas, moléculas de carbón orgánico, etc.) y unen muchas de las pocas fracciones solubles en partículas de floculo.

Los sistemas de tratamientos secundarios constituyen sin dudas los más estudiados y a su vez la más amplia y extensa gama de métodos para ejercer este propósito. Los sistemas de tratamiento secundario son clasificados en dos grandes grupos atendiendo al crecimiento microbiano del mismo, ellos se clasifican como sistemas de película fija o sistemas de crecimiento disperso o suspendido.

- En los sistemas fijos de película (como son los filtros percoladores) la biomasa crece en el medio y el agua residual pasa a través de él.
- En el sistema de crecimiento suspendido (fangos activos) la biomasa está bien combinada con las aguas residuales. Típicamente, los sistemas fijos de película requieren superficies más pequeñas que para un sistema suspendido equivalente del crecimiento, sin embargo, los sistemas de crecimiento suspendido generalmente asimilan mejor los choques en el cargamento biológico y proveen mayores facilidades para la remoción de la DBO y los sólidos suspendidos que los sistemas de película fija.

2.4.2. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al ambiente receptor (mar, río, lago, campo, etc.). El tratamiento terciario, o de tercera fase, suele emplearse para eliminar nutrientes, sólidos en suspensión y reducir la DBO₅. Los sólidos disueltos se reducen por medio de procesos como la ósmosis inversa y la electrodiálisis. La eliminación del nitrógeno y la precipitación de los fosfatos pueden reducir el contenido en nutrientes.

Los procesos de microtamizado, filtración (lecho de arena, antracita, diatomeas...), precipitación y coagulación, adsorción (carbón activado), intercambio iónico, ósmosis inversa, luz ultravioleta (UV), electrodiálisis, procesos de reducción de nutrientes, cloración y ozonización constituyen las principales técnicas o metodologías empleadas como tratamientos terciarios para la remoción de contaminantes. Si se pretende la reutilización del agua residual, la desinfección por tratamiento con ozono es considerado el método más fiable, excepción hecha de la cloración extrema.

2.5. Generalidades de los Humedales

Durante las décadas del 60 y 70 crece el interés por los sistemas llamados naturales existentes en Europa y Norte América. A medida que se solidificaban las bases para la implementación de estos sistemas, los humedales de flujo horizontal subsuperficial (S.F.S) comenzaron a tener preferencia en Europa (Boon, A G, 1985), mientras que sistemas de flujo superficial (F.S) como pantanos y lagunas vegetadas eran más utilizados en Estados Unidos (Kadlec, R H, 1994). El proceso de depuración en los mismos depende del paso de líquido (agua albañal o el efluente de algún sistema de tratamiento primario) horizontalmente, a través de él con existencia o no de un lecho de grava o suelo en el que crecen plantas emergentes.

Los sistemas naturales de depuración son usados para ambos niveles de tratamiento, secundarios y terciarios. Los que presentan FS se configuran en canales cubiertos por una fina capa de suelo donde las plantas están sembradas; ocurriendo el tratamiento al fluir el agua lentamente, con una profundidad de 0.1 m a 0.6 m, a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente. Los que presentan SFS son similares a los de flujo superficial excepto que el estanque se llena con algún substrato (medio poroso) como piedra picada (grava, gravilla) a una profundidad aproximada de 0.2 m a 1m que sirve de soporte a las plantas emergentes y a través del cual el agua residual fluye siendo no visible su flujo superficial (Metcalf and Eddy, Inc, 1988).

Ambos sistemas son potencialmente eficientes en lo referido al costo, consumo energético y mantenimiento si se comparan con sistemas convencionales. Tanto los humedales de flujo horizontal subsuperficial como los de flujo superficial son convenientes para el tratamiento de las aguas de pequeñas poblaciones y han sido extendidos a tratamientos de efluentes industriales, drenajes de minas ácidas y efluentes agrícolas (Hedin, R S & Nairn R W, 1993). Los sistemas de flujo subsuperficial tienen la ventaja, sobre los de flujo superficial, de requerir menores áreas, así como evitar olores y problemas de mosquitos y roedores. Su principal desventaja radica en la necesidad de utilizar el lecho de soporte para el crecimiento y desarrollo de las plantas y de la masa de microorganismos (Crites, B L., Weaver, R, & Webb, J W, 1994; Crites, B L. et al., 1994).

2.5.1. ¿Por qué los humedales?

Los humedales son esencialmente sistemas biológicos, en el que ocurren interacciones complejas. Estos sistemas surgen a partir de la observación de los mecanismos propios existentes en la naturaleza y que prevalecen en la autodepuración de las aguas, donde se combinan procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren al interactuar las aguas con el suelo, las plantas, los microorganismos y la atmósfera, dando lugar a la ocurrencia de

procesos de sedimentación, filtración, absorción, degradación biológica, fotosíntesis, foto oxidación y toma de nutrientes por parte de la vegetación durante los procesos metabólicos. Las plantas transportan el oxígeno desde las hojas y tallos hasta las raíces, creándose cerca de la rizósfera una zona adecuada para que las bacterias presentes en ella (bacterias aeróbicas), tomen el oxígeno para la oxidación de la materia orgánica (Moorheard, K K & Reddy K R, n.d.)(Lane, P A, 1995).

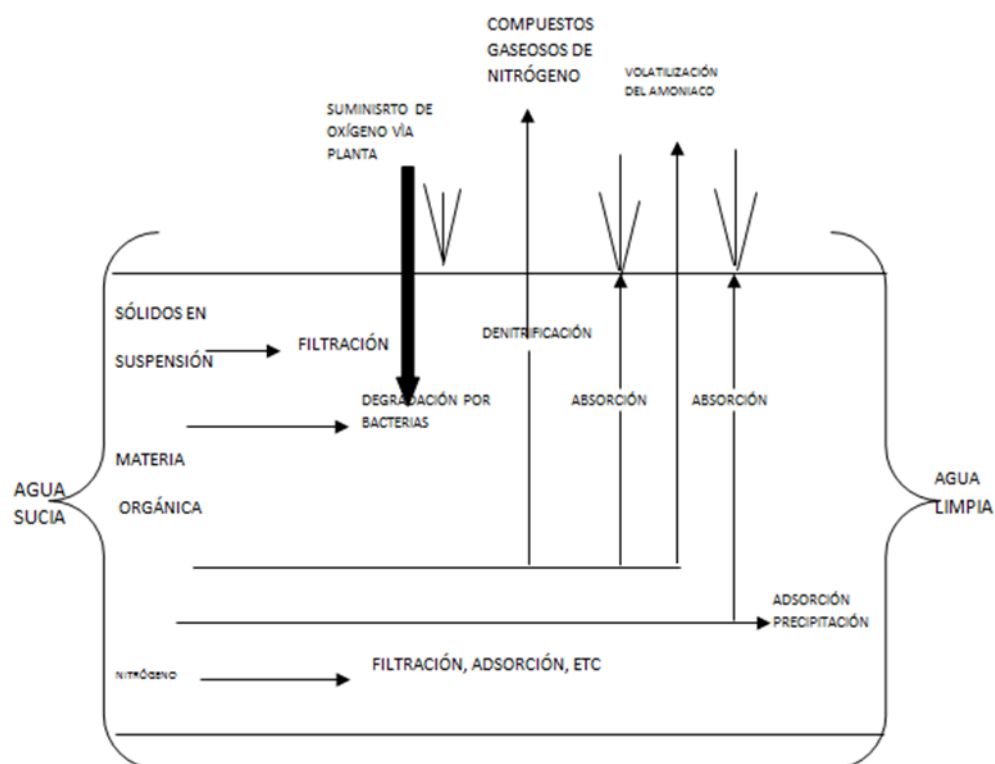
Estos sistemas pueden usarse tanto para la depuración de residuales domésticos como industriales. Los aspectos que a continuación se destacan han motivado el creciente interés por esta tecnología (Lane, P A, 1995; Brix, H & Schierup, H, n.d.; Rodríguez, C, 1997). Los sistemas naturales con plantas acuáticas:

- Proporcionan un tratamiento secundario y/o terciario produciendo un agua de características tales que puede ser re-usada en la agricultura (riego), acuicultura y en la industria (sistemas de refrigeración) según legislación pertinente en cada sitio o país
- Alta eliminación de sólidos suspendidos totales y nitrógeno, así como niveles significativos de metales, trazas orgánicas y patógenos
- En los humedales la remoción de fósforo es mínima debido a las limitadas oportunidades de contacto del agua residual con el suelo
- Proporcionan un tratamiento de amplio espectro, removiendo de las aguas residuales altos niveles de demanda bioquímica de oxígeno con elevada efectividad
- Son sistemas potencialmente eficientes en lo referido a costo, consumo energético y mantenimientos si los comparamos con sistemas convencionales (Crites, B L. et al., 1994).
- Los costos de inversión y de operación son significativamente menores que los costos de los sistemas convencionales de tratamiento.

Esta tecnología natural requiere de limitados recursos en comparación con los beneficios que produce a los ecosistemas en los cuales se implementa.

En la siguiente figura (véase, Figura 1) se esquematizan los principales procesos que se llevan a cabo en un humedal y que permitan la depuración del agua residual.

Figura 1. Procesos de depuración de los humedales artificiales.



Fuente: (García, 2003)

No obstante de las ventajas destacadas, se ha observado que en países con clima templado durante el invierno disminuye la efectividad de depuración de estos sistemas. Por ello, los beneficios que el empleo de humedales para el tratamiento aguas residuales produce deben estar bien fundamentados para cada situación climática particular (Reed, S C, Middlebrooks, E J, Crites, R W, & Sherwood, C, 1988).

2.5.2. Plantas Acuáticas Emergentes

Las plantas acuáticas emergentes (carrizos, juncos, enneas, totoras, etc.), son plantas anfibias que viven en aguas poco profundas, arraigadas en el suelo y cuyos tallos y hojas emergen fuera del agua, pudiendo alcanzar alturas entre dos y tres metros.

Son plantas vivas cuyas hojas se secan en el invierno en países de clima templado, rebrotando en primavera a partir de órganos subterráneos como los rizomas, que persisten durante el período frío. El invierno en países de clima cálido no provoca daños sobre la planta, manteniendo su vitalidad durante todo el año. Estas plantas, con un hábitat intermedio entre el medio terrestre y el acuático, son vigorosas y productivas, ya que aprovechan las ventajas de los dos medios, no sufren limitaciones de agua y tienen un mayor acceso a la luz que las plantas sumergidas. Por otra parte, están adaptadas para tolerar las condiciones de falta de oxígeno que se producen en un suelo encharcado, ya que poseen canales o zonas de aireación que facilitan el paso del oxígeno de las hojas a las raíces. Las tasas de transferencia de oxígeno estimadas para las plantas emergentes varían entre 5 y 45 g/m²d, siendo 20 g/m²d un valor medio típico para la mayoría de los sistemas (USEPA, 1988).

Esta vegetación tiene diversos propósitos intrínsecos que las hacen componentes indispensables cuyas funciones principales son (Metcalf and Eddy, Inc, 1988):

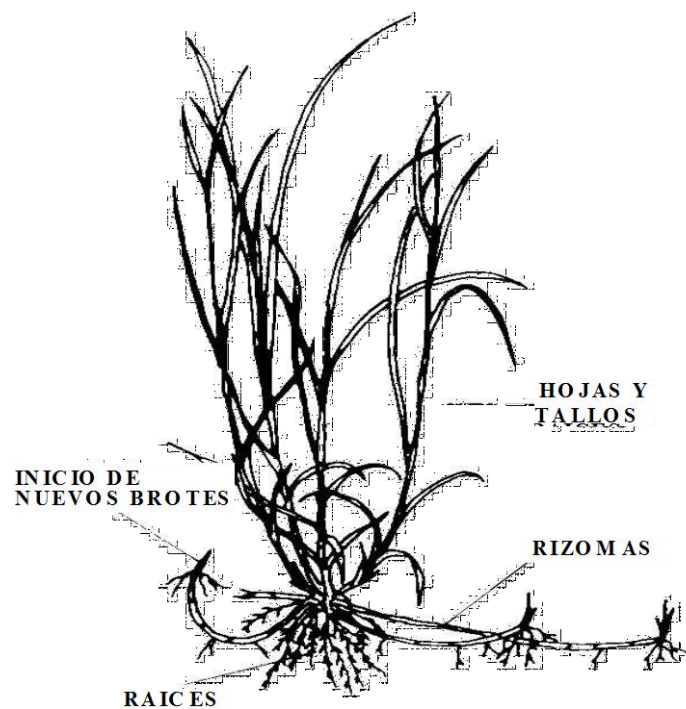
- Eliminación por absorción directa en los tejidos de nutrientes (nitrógeno y fósforo), metales pesados y otros contaminantes de las aguas residuales
- Estabilizan el cauce
- Liberan cantidades significativas de oxígeno hacia las raíces que ayudan a que los microorganismos aerobios vivan en la rizósfera,

- Influyen en la conductividad hidráulica del terreno (permeabilidad del suelo)
- Filtran los sólidos a través del entramado que forma su sistema radicular

La selección de las especies vegetales se debe realizar de acuerdo a la adaptabilidad de las mismas al clima local, su capacidad de transportar oxígeno desde las hojas hasta la raíz, su tolerancia a concentraciones elevadas de contaminantes, su capacidad asimiladora de los mismos, su tolerancia a condiciones climáticas diversas, su resistencia a insectos y enfermedades y su facilidad de manejo.

La figura a continuación (véase, Figura 2) muestra una de las especies emergentes más utilizadas en los estudios de depuración de aguas residuales, observándose las diferentes partes que componen la misma.

Figura 2. Esquema de una planta típica



Fuente: (García, 2003)

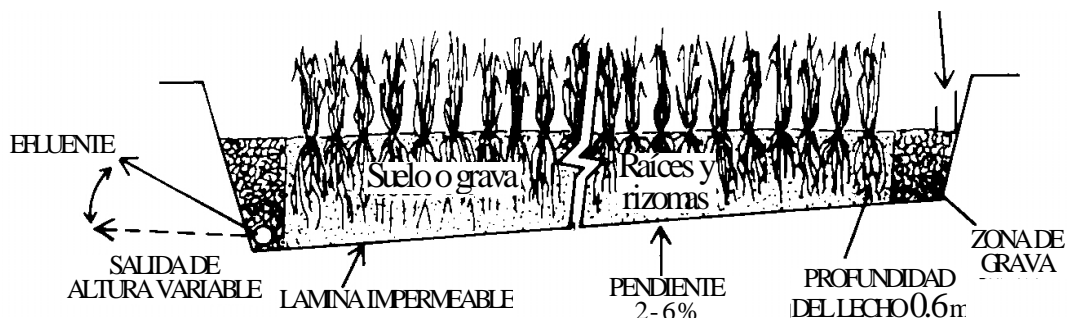
2.5.3. Tipos o regímenes de Flujo Imperante en los Humedales

2.5.3.1. Flujo Sub superficial (SFS)

La circulación del agua a través del suelo o material de soporte parece ser siempre más efectiva que la circulación de superficie para muchos de los mecanismos de degradación de los contaminantes presentes en las aguas residuales. Hay que tener en cuenta que los microorganismos que degradan la materia orgánica se encuentran principalmente en la zona alrededor de las raíces de las plantas (Martin, M I, 1989; Breen, P F, 1990). Durante el paso del agua residual se prevé un contacto con las zonas aeróbicas, anóxicas y anaeróbicas. La zona aerobia se encuentra alrededor de las raíces y rizomas de las plantas. La planta hidrofílica (verde) más usada es la *Phragmites australis*; estas plantas transportan el oxígeno en forma descendente desde las hojas y la estructura hasta los rizomas y las raíces (Brix, H, 1994). Ha sido demostrado que en el área alrededor de los rizomas las poblaciones bacterianas son mayores.

En la figura a continuación (véase, Figura 3) se muestra un esquema típico de un sistema de flujo sub superficial horizontal.

Figura 3. Sistema de Flujo Sub superficial Horizontal



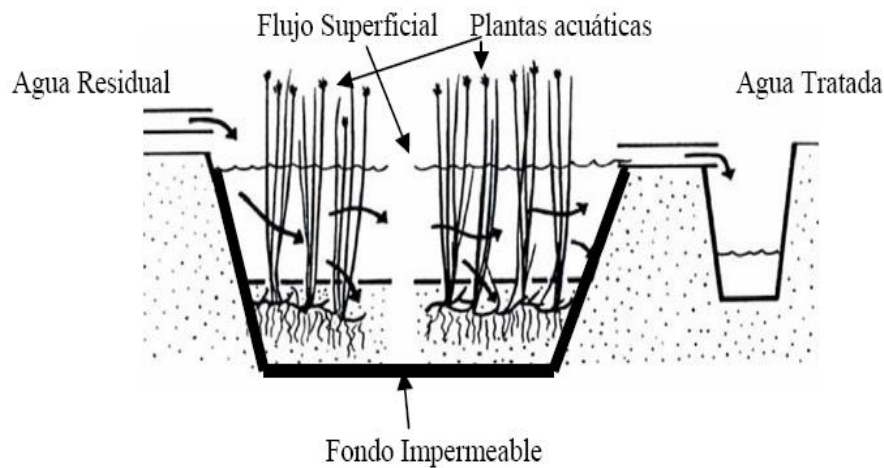
Fuente: (García, 2003)

Estudios publicados demuestran la capacidad de los Humedales de flujo horizontal subsuperficial para remover cantidades significativas de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, sólidos suspendidos, bacterias y metales pesados del agua residual (Reed, S C et al., 1988; Metcalf and Eddy, Inc, 1988). Además de tener un medio de soporte como se indicó anteriormente, estos sistemas funcionan con vegetación emergente, cuyo papel es fundamental para su buen funcionamiento, (De Jong, J, 1976; Seidel, K, 1976).

2.5.3.2. *Flujo Superficial (F.S.)*

En el flujo superficial (véase, Figura 4) el agua fluye sobre la superficie del terreno, un ejemplo de esto son las lagunas o zanjas vegetadas, lagunas en balsa y pantanos artificiales, existiendo siempre una superficie de agua libre. El crecimiento de la vegetación es físicamente importante ya que ayuda a la mejor distribución del flujo, amortigua la velocidad del afluente, sirve como filtro para los sólidos suspendidos y como estructura de soporte para el crecimiento microbiano que se desarrolla alrededor de las raíces (García, J, 2003). A continuación se expondrán algunos de los parámetros más importantes a tener en cuenta en el estudio y el diseño de los sistemas de tratamiento.

En la figura a continuación se muestra un esquema típico de un sistema de flujo superficial horizontal.

Figura 4. Sistema de Flujo Superficial Horizontal

Fuente: (García, 2003)

2.6. Tiempo de Retención

El tiempo de retención depende del tipo de flujo. En el caso en que el agua se mueve a través de un medio soporte como en los Humedales de flujo subsuperficial, el tiempo de retención es función del gasto y de la permeabilidad del medio, sobre todo en los sistemas muy pequeños. (USEPA, 1988). Otros factores a tener en cuenta son: la configuración del humedal, los dispositivos de entrada y salida (una deficiente concepción de éstos, puede provocar corto circuitos y zonas muertas), y el área superficial.

2.7. Remoción de metales pesados mediante sistemas naturales

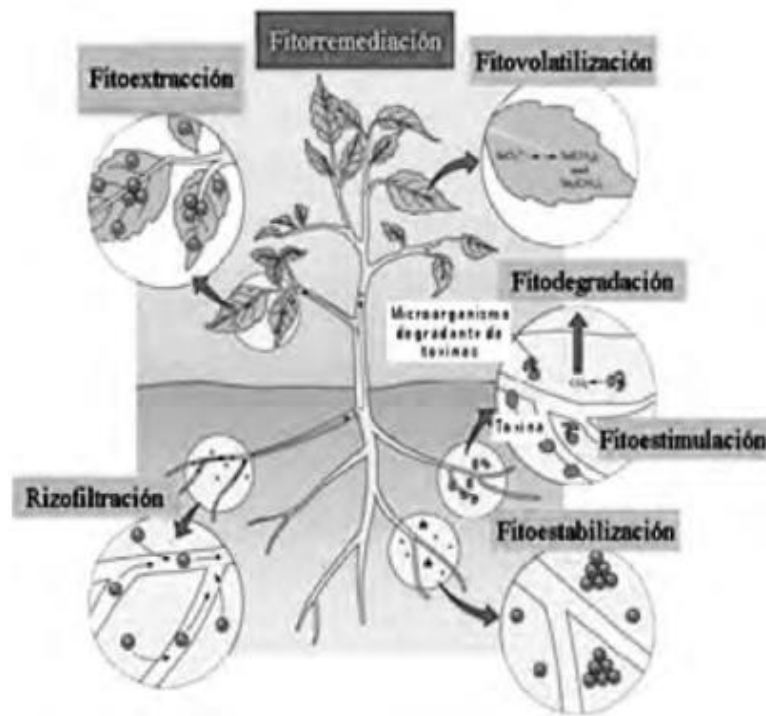
Los humedales proveen sumideros efectivos para nutrientes y sitios amortiguadores para contaminantes orgánicos e inorgánicos que son en los que nos centraremos. Esta capacidad es el mecanismo que permite remover metales pesados de las aguas residuales sin una alta demanda de recursos tanto económicos como energéticos.

Este fenómeno se da mediante algunos procesos de remoción que lleva acabo la planta en sus diferentes zonas (véase, Figura 5).

2.7.1. Tipos de proceso llevados a cabo en las plantas por zonas (Frers, 2008):

- **Fitoextracción:** se usa para concentrar metales en las partes cosechables como las hojas y las raíces y sirve para metales como cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, zinc.
- **Rizo filtración:** las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos. Se puede tratar cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, zinc, isotopos radioactivos y compuestos fenólicos.
- **Fitoestabilización:** las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje a suelos subterráneos o al aire. Se puede tratar lagunas de desecho de yacimientos mineros.
- **Fitoestimulación:** se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos). Se pueden tratar algunos hidrocarburos derivados del petróleo y poliaromáticos, benceno, tolueno, antrazina, etc.
- **Fitovolatilización:** Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmosfera por transpiración. Se tratan mercurio, selenio y solventes clorados.
- **Fitodegradación:** Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos. Se tratan antrazina, solventes clorados, DDT, pesticidas fosfatados, fenoles y nitritos, etc.

Figura 5. Zonas de la planta con su respectivo proceso



Fuente: (Frers, 2008)

2.7.2. Procesos de remoción físicos

Los humedales son capaces de brindar una alta eficiencia física en la remoción de contaminantes asociados con material particulado. El agua superficial se mueve muy lentamente a través de ellos, debido al flujo laminar característico y la resistencia proporcionada por las raíces y las plantas flotantes. La sedimentación de los sólidos suspendidos se promueve por la baja velocidad de flujo y por el hecho de que el flujo es con frecuencia laminar en los humedales. Las esteras de plantas en los humedales pueden servir como trampas de sedimentos, pero su rol primario es la remoción de sólidos suspendidos para limitar la re suspensión de material particulado. (Frers, 2008)

2.7.3. Procesos de remoción biológicos

El proceso de remoción biológica es quizá el más importante para la remoción de contaminantes. Estos que son también formas de nutrientes esenciales para las plantas, tales como nitrato, amonio y fosfato, son tomados fácilmente por las plantas del humedal. Sin embargo, muchas especies de plantas de los humedales, son capaces de captar, e incluso acumular significativamente metales tóxicos, como cadmio y plomo. La velocidad de remoción varía dependiendo de la capacidad de crecimiento de la planta y concentración del contaminante en el tejido de la planta.

En los humedales, el material de la planta muerta, conocido como detritus o basura, se acumula en la superficie del suelo. Algunos de los nutrientes, metales u otros elementos eliminados previamente del agua por captación de la planta son pérdidas del detritus de la planta por la lixiviación y descomposición, y reciclados nuevamente dentro del agua y del suelo. La lixiviación de contaminantes solubles en agua puede ocurrir rápidamente en la muerte de la planta o del tejido de planta, mientras que una pérdida más gradual de contaminantes ocurre durante la descomposición del detritus por las bacterias y otros organismos. (Frers, 2008)

2.7.4. Procesos de remoción químicos

El proceso químico en la remoción química de contaminantes es la absorción que da como resultado la retención a corto plazo o la inmovilización a largo plazo de varias clases de contaminantes. La absorción significa la transferencia de iones a partir de la fase de la solución contaminada (efluente) a la fase sólida que es el suelo del humedal. (Frers, 2008)

2.8. Criterios de Diseño. Parámetros de Diseño

Los siguientes criterios son un compendio de lo planteado en las normas europeas y norteamericanas en cuanto a los parámetros a utilizar en los SFS y FS.

2.8.1. Profundidad

(Cooper, P. F. & Boom, A. G, 1987) y (Tchobanoglous, G, 1987), plantean que se debe usar una profundidad de diseño entre 0.6 y 0.9 m. Por su parte la Agencia Ambiental de Estados Unidos (USEPA, 1988), plantea que la misma profundidad debe hacerse coincidir con la penetración de los rizomas en el medio, y puede oscilar entre 0.3 y 0.75 m. Por su parte, la European Water Pollution Control Association (E.C./E.W.P.C.A, 1990), recomienda que la profundidad de estos sistemas no sea mayor de 0.6 m debido a que es la máxima longitud vertical que pueden alcanzar los rizomas de las plantas emergentes. (Kadlec, R. H & Knight, R. L, 1996), plantean que ésta debe estar entre 0.45 y 0.6 m. Observando estos criterios se puede concluir que la profundidad de un humedal estará regida por la profundidad máxima que alcancen las raíces de las plantas emergentes que se pretendan utilizar, (Reed, S C et al., 1988). Se suele recomendar el uso de *Phragmites* por su mayor profundidad de enraizamiento frente a otras especies. Lo más adecuado es utilizar plantas que crezcan en la zona, ya que esto, por una parte, facilitará la obtención de material de plantación, y por otra se tendrá la seguridad de que la planta está bien adaptada a las condiciones locales. Otros autores (Mitchell, 1978), recomiendan que la vegetación utilizada para el tratamiento de aguas residuales esté basada en una rápida y relativamente constante razón de crecimiento, facilidad de propagación, capacidad de absorber o transportar contaminantes, tolerancia a condiciones hiperutróficas, facilidad de cosecha y potencialidad para otros usos.

2.8.2. Área de la Sección Transversal

El área de la sección transversal es uno de los factores determinantes de la velocidad del flujo a través del dispositivo de tratamiento.

El área de la sección transversal, tanto para humedales de flujo superficial como para los de flujo subsuperficial, es calculada usando una de las formas de la ecuación de Darcy. Esta ecuación también es recomendada por la Water Environmental Federation (W.E.F). (1990), (Reed, S C et al., 1988; E.C./E.W.P.C.A, 1990).

$$A_c = \frac{Q}{K_D S} \quad (2.1)$$

donde:

- A_c : es el área transversal del lecho (m^2)
- K_D : es la conductividad hidráulica Darciana (m/s)
- Q : es el caudal medio que circula a través del sistema (m^3/s)
- S : es la pendiente longitudinal del fondo del lecho recomendada del 1% (m/m)

Investigadores como Reed, Middelbrooks y Crites (1988, 1993), y Steiner (1993) plantean que la velocidad del flujo definida por el producto (KDS) se debe limitar a 6.8 m/d para minimizar el arrastre localizado de películas biológicas (Steiner, G R, 1993; Reed, S C et al., 1988; Crites, B L. et al., 1994)

Existen autores que consideran que en el empleo en la ecuación anterior, la variable a considerar para el cálculo de la velocidad del flujo es el gradiente hidráulico y este no tiene que coincidir necesariamente con la pendiente del fondo del lecho. Las variaciones debidas a fluctuaciones de caudal (más específicamente disminuciones del caudal por debajo del de diseño)

provocarían que el gradiente hidráulico disminuya y que la zona radicular de las primeras plantas del sistema quede expuesta al aire, afectándose el enraizamiento apropiado de las mismas y con ello la eficiencia depuradora del sistema. Esta afectación puede evitarse si se limita la pendiente del fondo. Kadlec y Knight (1996) consideran que con este fin puede escogerse el 10% de la profundidad del lecho de soporte como valor máximo de disminución de altura entre la entrada y la salida del sistema (Kadlec, R. H & Knight, R. L, 1996). Si se expresa este criterio de forma geométrica se puede plantear:

$$S_b < 0.1 \frac{h_o}{L} \quad (2.2)$$

$$0.1 > \left(\frac{S_b}{(h_o/L)} \right) = G_1 \quad (2.3)$$

siendo:

- h_o : la profundidad del agua en el humedal (m)
- S_b : pendiente del fondo (0/00)
- L : la longitud del humedal (m)
- G_1 : Número geométrico (a dimensional)

El valor de G_1 debe ser menor de un décimo para asegurar que el extremo de entrada del lecho no tenga mucho espacio entre la superficie del medio soporte y la del agua, con lo que se evitan las condiciones que ocasionan las consecuencias antes explicadas.

La ocurrencia de cargas excesivas o disminuciones de la conductividad hidráulica pueden producir gradientes demasiado altos, capaces de ocasionar inundaciones. Un límite del 10% de la altura del lecho en las pérdidas de carga permisible es suficiente para su buen funcionamiento en

este sentido (Kadlec, R. H & Knight, R. L, 1996). Expresando este criterio geométricamente quedaría:

$$\frac{Q}{LWK_D h_0^2} < 0.1 \quad (2.4)$$

$$0.1 > \frac{q/K_D}{(h_0/L)^2} = G_3 \quad (2.5)$$

donde:

- KD: es la conductividad hidráulica Darciana (m/d)
- G3: es el número de carga
- Q: es la carga hidráulica superficial (m/d)
- W: es el ancho (m)

Para un nivel del agua en el cual la profundidad de salida esté establecida al 90% como mínimo de la profundidad del lecho no ocurrirán inundaciones, o lo que es lo mismo, que el valor de G3 sea menor que un décimo. La condición de que $G_3 = G_1$, corresponde a la situación en que la superficie del agua es paralela al lecho del reactor; para $G_3 < G_1$, la profundidad del agua aumenta con la distancia a partir de la entrada y para $G_3 > G_1$ la profundidad del agua disminuye con la distancia a partir de la entrada. Por tal razón, los parámetros G3 y G1 se consideran muy útiles para el establecimiento de restricciones de diseño (Kadlec, R. H & Knight, R. L, 1996).

2.8.3. Área Superficial. Modelos Matemáticos empleados

De acuerdo con lo planteado en la W.E.F. (1990) y la American Society of Civil Engineering A.S.C.E. (1992), (E.C./E.W.P.C.A, 1990), se recomienda

la siguiente ecuación para el cálculo del área superficial en Humedales de flujo horizontal.

$$A_s = \frac{Q(\ln C_0 - \ln C_e)}{K_T d n} \quad (2.6)$$

la cual se deriva del modelo aplicado para flujo pistón, que relaciona la eficiencia de remoción con el tiempo de retención:

$$C_e/C_0 = \exp(-K_T t) \quad (2.7)$$

donde:

- C_e : es la concentración de DBO5 del efluente (mg/L)
- C_0 : es la concentración de DBO5 del afluente (mg/L)
- K_T : es la constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura (d^{-1})
- t : es el tiempo de retención (d)
- d : es la profundidad del lecho (m)
- n : es la porosidad del medio (como fracción)
- A_s : es el área superficial del sistema (m^2)

Reed, Crites y Middelbrooks (1997), proponen varias expresiones empíricas para la determinación del valor de K_T útiles en el cálculo de la razón de remoción de nitrógeno tanto por nitrificación como por des-nitrificación, de fósforo y de sólidos suspendidos totales dependientes también de la temperatura del agua residual (Reed, S C et al., 1988).

La expresión 2.7 es un modelo de reacción base volumen. También se han planteado modelos de reacción base área para el análisis del flujo en

reactores, como flujo pistón y como mezcla completa (Kadlec, R. H & Knight, R. L, 1996).

$$\frac{C_e}{C_0} = \exp\left(\frac{K_{fp}}{q}\right) = \left(1 + \frac{K_N}{Nq}\right)^{-N} \quad (2.8)$$

donde:

- K_{fp} : es la constante de reacción de primer orden base área para flujo pistón (m/año)
- K_N : es la constante de reacción de primer orden base área para N tanques en serie (m/año)
- N : es el número de tanques de mezcla completa en serie supuesto
- q : es la carga hidráulica (m/año)

Los términos KT_t de la expresión 2.7 y K/q de la expresión 2.8 son conocidos como el número de Damköhler (Da), para los modelos base volumen y base área respectivamente.

Otro criterio práctico recomienda áreas entre 5-10 m^2/Pe (Pe , es la Población equivalente) para aguas residuales domésticas para lograr efluentes de 20 mg/L de DBO y 30 mg/L de SS, (para concentraciones afluentes entre 150-300 mg/L).

El uso de las ecuaciones antes recomendadas sin una adecuada interpretación del comportamiento del flujo puede llevar a errores en el dimensionamiento de los sistemas y a su incorrecto funcionamiento desde el punto de vista del tratamiento biológico; algunos autores (Kadlec, R. H & Knight, R. L, 1996), plantean la necesidad de efectuar pruebas de trazadores para determinar los parámetros antes expuestos y conocer realmente el tiempo medio de residencia del agua residual dentro del reactor.

2.8.4. Relación Largo- Ancho

La relación largo/ancho debe estar entre 3:1 y 10:1 en dependencia de las cargas a tratar, de los contaminantes que se desean remover y del tipo de flujo. La superficie del lecho debe ser llana y el fondo se recomienda que tenga una pendiente no mayor del 3% que permita que el residual fluya a través del substrato venciendo las fuerzas de fricción del medio (Steiner, G R, 1993; Cooper, P. F. & Boom, A. G, 1987).

2.9. Legislación sobre efluentes líquidos

El problema de la contaminación por metales pesados, cianuro y otros compuestos en efluentes líquidos para ser descargados en cuerpos de agua dulce está presente en la definición de normas y leyes de carácter ambiental. Para el caso de Ecuador, el TULSMA (Texto Unificado de la Legislación Secundaria) (Ministerio del Ambiente, n.d.), dictada bajo el amparo del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental dicta los límites en la tabla 6 del Libro VI Anexo I (véase, Tabla 1).

Tabla 1. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Sólidos sedimentables		ml/l	1
Sólidos suspendidos totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1600
Potencial Hidrógeno	pH		5-9
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cianuro total	CN-	mg/l	0,1
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0

Fuente: TULSMA.

2.10. Estado del arte

El cuidado del ambiente y especialmente el cuidado del recurso hídrico se ha vuelto un tema de investigación muy importante en la actualidad es por esto que la problemática de este estudio, la remoción de cianuro y metales pesados de los efluentes industriales de la minería ha sido estudiada por muchos autores desde hace tiempo, especialmente para cumplir con parámetros establecidos en la legislación respectiva del lugar y un medio para el cuidado y preservación del medio.

En un estudio realizado en Atlanta, Estados Unidos se, estudió mediante una planta piloto se analizo la reducción de cianuro complejo y libre de las aguas subterráneas provenientes de industrias principalmente de aluminio mediante especies como totora (*Typha latifolia*) y junco (*Schoenoplectus tabernaemontani*), posteriormente convertidos a Coontail (*Ceratophyllum demersum*) y espigas de agua (*Potamogeton*spp). Lográndose resultados muy alentadores reduciendo tanto el cianuro total y libre de manera efectiva durante 7 d de detención, en un 56% y 88%, respectivamente. Estos desplazamientos se lleven a estimaciones de límite inferior, ya que las concentraciones de efluentes eran a menudo debajo de la detección (Gessner et al., 2005).

En Asturias España, la preocupación por la contaminación con cianuro había sido un tema muy importante y la necesidad de cumplir con las normativas vigentes, por lo que se realizó un tratamiento piloto in situ con un porcentaje de cianuro disuelto removido del 21,6 % y 98 % de Cu, nitrito y nitrato, mediante sistemas pasivos basados en humedales y los consideran como una alternativa viable para tratar lixiviados procedentes de instalaciones de industrias mineras y relaves cerrados. (Álvarez et al. 2013)

En cuanto al uso de fito remediación de efluentes industriales donde se realizan procesos de cianuración, existe una tesis doctoral de la Universidad de Oviedo (Álvarez García, 2005), donde se resalta el uso de humedales contruidos como una opción viable para su tratamiento y se resalta el uso

de la especie (*Typha latifolia*) como una especie resistente y apta para la disposición en ambientes aerobios así también las especies (*Phragmites Australis*) y (*Juncus Effusus*). También se hace una apreciación al uso de este tipo de tratamiento en la disminución de metales pesados llegando a resultados de reducción del 40 al 100% (Álvarez García, 2005).

A nivel local existe un trabajo similar orientado hacia las actividades mineras sin buenos resultados en cuanto a la disminución de cianuro (Mariuxi Del Cisne Jaramillo Jumbo & Edison Dario Flores Campoverde, 2012), el trabajo fue realizado con dos especies de plantas *Lemma Minor* (Lenteja de agua), *Eichorinia crassipies* (Jacinto de agua), por lo que da la oportunidad de profundizar más en el tema de cianuro y metales pesados que son los parámetros de contaminantes más peligroso en estas industrias.

CAPITULO III

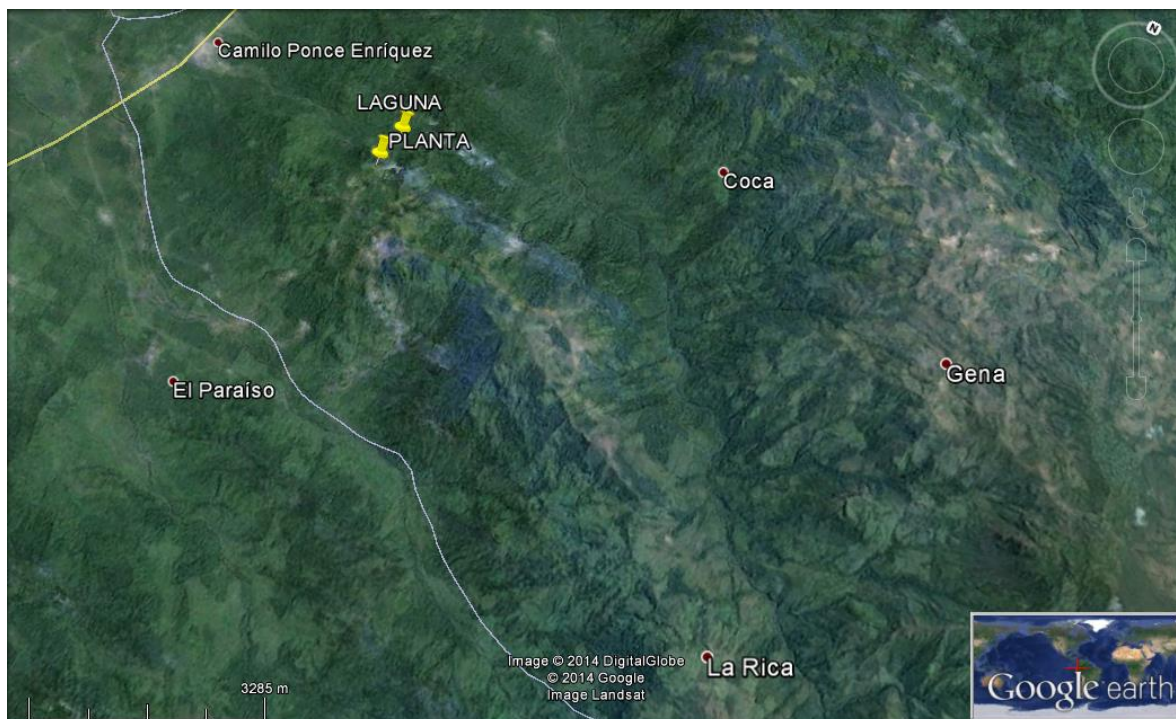
3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Situación geográfica del proyecto

La planta de cianuración “COMINCOBOS S.A.”, se encuentra ubicada en la Provincia del Azuay, Cantón Ponce Enríquez, sector Bella Rica. La ubicación geográfica de la planta es la siguiente: coordenadas Longitud Este (X) 643209 y Latitud Norte (Y) 9660681 UTM, WGS 84. (Véase, Figura 6)

Los efluentes que se van a tratar en el sistema de tratamiento son generados en la planta “COMINCOBOS S.A.”, industria dedicada a la extracción de oro mediante carbón activado por procesos de cianuración y cuyos efluentes son transportados mediante tuberías hacia una piscina (véase, Foto 1), de disposición de residuos ubicada a unos 600 metros, desde la planta de cianuración en línea recta, en las coordenadas Longitud Este (X) 643209 y Latitud Norte (Y) 9660681 UTM, a 650 metros sobre el nivel del mar (msnm), lugar donde se construirá el sistema de tratamiento de aguas residuales.

Figura 6. Ubicación de la Planta y piscina de disposición de residuos



Fuente: Google Earth

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

Foto 1. Piscina de disposición de residuos



Foto: Juan Pesántez Vallejo

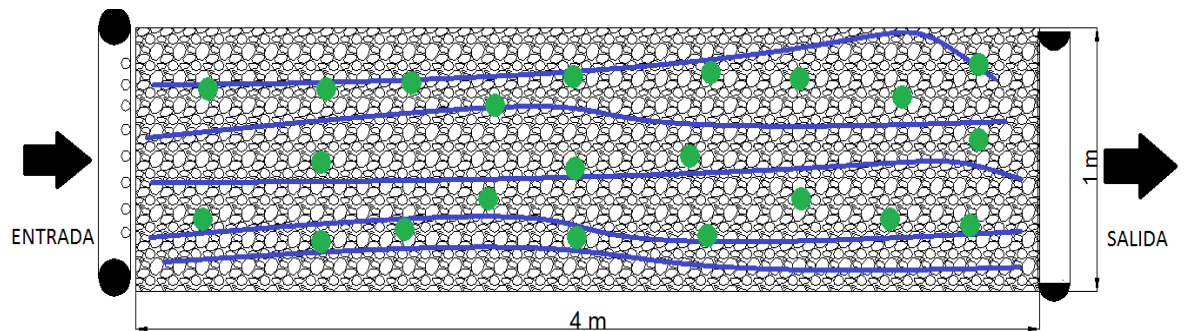
3.2. Descripción del sistema de tratamiento

El afluente a nuestro sistema de tratamiento se incorpora luego de que el mismo es bombeado desde la piscina de residuos, (véase, Foto 2), para luego pasar a nuestra planta de tratamiento, el ingreso del afluente a la planta de tratamiento es mediante una manguera en forma de flauta (véase, Foto 3), para mejorar la dispersión de afluente a tratar en todo el estrato. El afluente será distribuido en la superficie del humedal (1m de ancho por 4 metros de largo), con la salida en la parte baja del tanque, la misma que fue tapada hasta ser llenado y asegurado el tiempo de retención con el que se probó este sistema (5 días), (véase, Figura 7 y Figura 8), luego de este tiempo fue evacuada el agua tratada de retorno a la piscina de disposición de residuos, ya que algunos parámetros todavía no cumplen con la normativa, tomando nuestra muestra del efluente tratado.

Foto 2. Bomba para extracción de agua

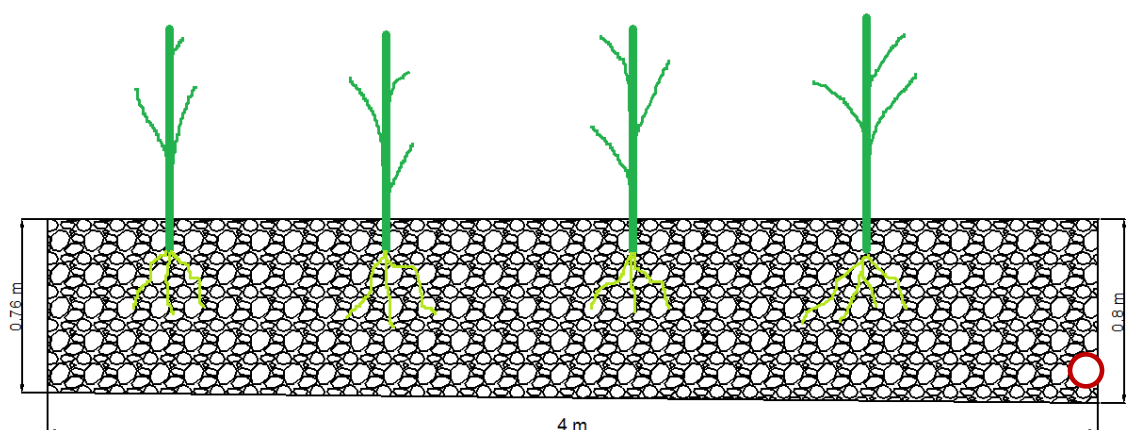


Foto: Juan Pesántez Vallejo

Figura 7. Vista superior de la planta de tratamiento

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

Para la realización de la planta de tratamiento se acondicionó una losa de cemento existente. Donde se construyó una pared de ladrillo reforzado a ambos lados con cemento para mantener la permeabilidad y se reforzó el fondo, al mismo tiempo que se le ha dado una pendiente del 1%, al final de la cual existe un agujero de salida (véase, Figura 8), para asegurar la salida de todo el líquido tratado luego de su tratamiento.

Figura 8. Vista lateral del sistema de tratamiento

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

Foto 3. Método de entrada de afluente al sistema

FOTO: Juan Pesántez Vallejo

El tipo de flujo a usarse es un sistema de flujo sub superficial (SFS) por la calidad de tratamiento que se puede dar al agua, ya que no sólo se remueve por las plantas sino también por el estrato utilizado en el proceso; otro beneficio de este tipo de flujo es que podemos evitar la afluencia de mosquito propio de la zona que suele hospedarse en ambientes acuáticos para depositar sus huevos, este es un aspecto muy importante a tratar ya que en la zona hay trabajadores de la industria minera que viven muy cerca del lugar. El régimen de llenado es discontinuo ya que se va a llenar el tanque de tratamiento con el afluente y luego será vaciado para la siguiente etapa de tratamiento. El agua desalojada (efluente del sistema), regresó a la piscina de disposición de residuos ya que algunos parámetros todavía no cumplieron con la normativa ecuatoriana.

La especie de vegetación utilizada en este trabajo sea la especie (*Typha Latifolia*) una especie muy común en la zona de Yunguilla y Santa Isabel en la provincia del Azuay (Véase, Foto 4), encontrándola con facilidad en zonas pantanosas con gran afluencia de agua; la misma que ha reportado muy buenos resultados con reducciones de hasta del 88% de cianuro libre (Gessner et al., 2005), y resultados desde 40 a 100% en metales pesados

(Álvarez García, 2005); la densidad de vegetación fue de 23 plantas distribuidas en el área de tratamiento (4m²), (García, J, 2003).

La especie (*Typha Latifolia*) o comúnmente llamada totora o espadaña puede medir hasta 2 metros aunque existen plantas que llegan a los 3 metros de altura, es una planta robusta con raíces fibrosas, rizomas y tallos erectos. Las hojas son basales, lineares y de planas a semicilíndricas con un color verde pálido o amarillas, además crecen de manera erecta cubriendo al tallo, los mismos crecen ligeramente más cortos que las hojas, las flores crecen en dos inflorescencias bien diferenciadas la masculina de la femenina, estando la femenina abajo a no más de 2.5 cm de la masculina. Esta especie es muy adaptable a medios ecológicos variados creciendo a plena luz y soportando incluso sombra, también acepta un alto rango de temperaturas y no necesariamente suelos ricos en nutrientes, requiere de suelos con abundante agua o ambientes inundados necesitando una profundidad máxima de unos 40 cm de raíz; si la zona está inundada el agua debe estar bien aireada. (“*Typha latifolia*, Espadaña,” n.d.)

Foto 4. Izquierda: Planta extraída. Derecha: lugar de extracción de la planta



Foto: Juan Pesántez Vallejo

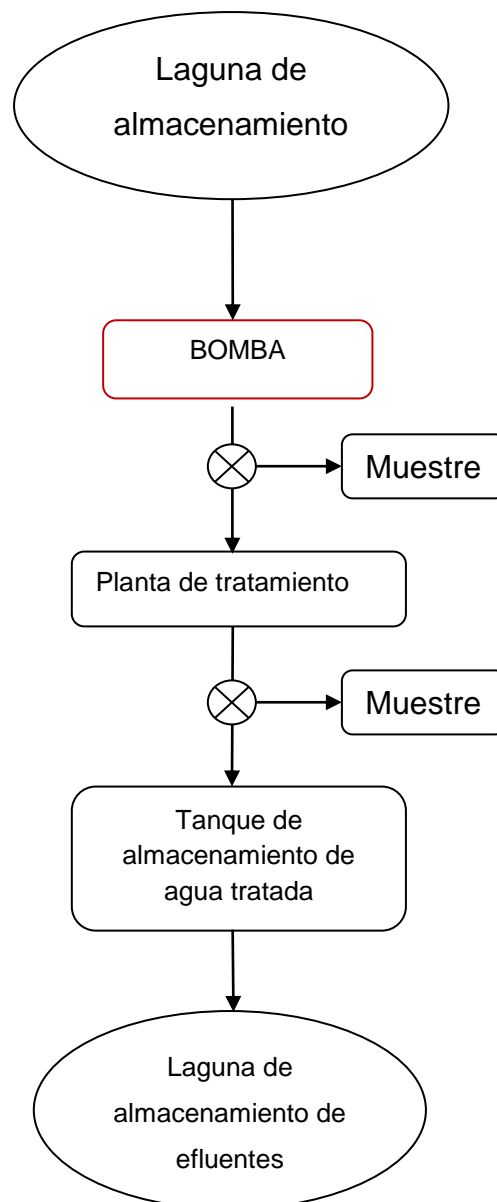
En nuestro medio se utilizan las hojas de esta especie para hacer artesanías como canastos o sombreros, también sus flores se pueden utilizar como

adornos e incluso son utilizadas en las zonas rurales como repelentes para insectos.

Esta es una planta muy invasiva y su siembre debe ser controlada en estanques dimensionados.

El estrato utilizado en nuestra planta de tratamiento es grava gruesa con un diámetro promedio de 4 pulgadas o 10cm, propia del lugar, para mejorar la retención de contaminantes y una buena adaptación de las plantas.

Figura 9. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento



Elaboración: Juan Pesántez Vallejo.

3.3. Muestreo y preservación de la muestra

A continuación se brinda información de los parámetros estudiados en el sistema de tratamiento, tipo de análisis y preservación de la muestra.

Las muestras serán tomadas en la mañana para mejorar el lapso de tiempo desde la toma de la muestra in situ hasta llevarlas al laboratorio de la Universidad de Cuenca (Laboratorio de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas), instalaciones destinadas a realizar este tipo de análisis en la ciudad de Cuenca, sus procesos siguen la metodología de Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales ((APHA et al., 1992)), la muestra será preservada en botellas de vidrio previamente lavadas con el agua de donde se tomara la muestra, posteriormente cubiertas con plástico para disminuir la entrada de luz y aire que podrían producir reacciones que afecten nuestros resultados y para evitar reacciones que afecten el contenido de cianuro de la muestra, se conservara a la menor temperatura posible con hielo triturado nunca hielo seco ya que podría cambiar el pH así como congelarla, se deberá conservar a una temperatura de 4 grados centígrados.

En caso de que se necesite conservar la muestra un periodo más largo que el descrito anteriormente se seguirá las recomendaciones del libro Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales (APHA et al., 1992). Se ubicará también un etiquetado de la muestra con el número de la muestra, tipo de la muestra fecha, hora y nombre de la persona que toma la muestra todo esto según Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales (APHA et al., 1992).

El muestreo que se va a realizar es un muestreo simple puntual; se tomará dos muestras cada 5 días en un total de 6 campañas de monitoreo (véase, Tabla 2), una a la entrada del humedal y otra a la salida, asegurando el tiempo de retención y que el suministro de agua a tratarse no varíe considerablemente durante el tiempo total de tratamiento, de esta manera obtendremos un total de diez muestras entre ellas las de entrada y salida.

Tabla 2. Monitoreo de tratamiento de agua, fechas y campañas de monitoreo

MONITOREO	FECHA	CAMPAÑA
1er Muestreo	11-jun	1
	16-jun	2
2do Muestreo	16-jun	
	21-jun	3
3er Muestreo	21-jun	
	26-jun	4
4to Muestreo	26-jun	
	01-jul	5
5to Muestreo	01-jul	
	06-jul	6

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo.

Los parámetros a ser analizados en las muestras son:

- Conductividad
- Sólidos totales, sedimentables, totales disueltos y suspendidos totales.
- pH
- Cianuro libre
- Cobre
- Arsénico
- Sulfuros

Para los resultados se realizará un análisis comparativo mediante: media, máximos, mínimos, los cuales serán comparados mediante graficas de histogramas, en los cuales se comparara la cantidad de contaminantes a la entrada y luego del tratamiento llegando a la conclusión del porcentaje de reducción de cada contaminante.

3.3.1. Determinación de la conductividad

La conductividad se refiere a la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica dependiendo esta; de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad valencia y concentraciones relativas así como de la temperatura de la medición y también por ultimo de la temperatura de la medición.

La medición en laboratorio se realiza mediante una célula de conductividad donde se analiza la resistencia, esto se mide en ohmios o megohmios por unidad de longitud que puede ser centímetros.

La medición de la conductividad se realiza para conocer o tener una idea del grado de mineralización del agua y también para un posterior análisis de sólidos totales disueltos. (APHA et al., 1992)

3.3.2. Determinación de sólidos totales, sedimentables, totales disueltos y suspendidos totales.

El término sólidos en general son los materiales suspendidos o disueltos en aguas limpias y aguas residuales. Los sólidos pueden afectar negativamente a la calidad de cualquier tipo de agua de varias maneras también es importante recalcar que el nivel de sólidos puede ser crucial en el análisis de las limitaciones de algunos sistemas de tratamiento.

Existen algunas denominaciones para los sólidos entre ellas: sólidos totales que se refiere a la cantidad de residuos que quedan en un recipiente después de la evaporación de la muestra y su consecuente secado en estufa a temperatura definida, sólidos totales suspendidos representa la cantidad de sólidos retenida por un filtro y sólidos disueltos totales representa la porción que atraviesa el filtro. El tamaño de poro del filtro así como su área y espesor son parámetros determinantes que afectaran a la separación de los últimos tipos de sólidos de los que he hablado.

Los sólidos sedimentables aplican al material que sedimenta después de un tiempo determinado de sedimentación.(APHA et al., 1992)

3.3.3. pH

La mayor parte de las aguas naturales tienen un pH que varía entre 4 y 9. Esta fluctuación de valores está dada por la presencia de bicarbonatos y en menor grado carbonatos y puede estar afectado por la entrada de residuales ácidos o básicos. La escala práctica de pH se extiende desde el valor 0 (muy ácido) hasta el valor 14 (muy básico), con un valor medio de 7, que corresponde a la neutralidad exacta a 25°C.

Para su determinación se pueden emplear varios tipos de electrodos, aunque se reconoce que el electrodo de Hidrógeno es el estándar primario por excelencia. El más utilizado es la combinación del electrodo de vidrio con el Electrodo de Calomel como potencial de referencia. (APHA et al., 1992)

3.3.4. Cianuro libre

El termino cianuro incluye todos los grupos CN en compuestos de cianuro que se puedan determinar como por ejemplo el cianuro libre que se pueda determinar mediante métodos especializados.

El cianuro representa un material muy toxico para los peces en medios acuáticos especialmente de complejos estables con cobre principalmente a los iones sin disociar, siendo los iones complejos mucho menos tóxicos.

La pérdida de cianuro a la atmosfera, su destrucción química, bacteriana y su absorción por plantas resistentes pueden reducir el cianuro a niveles menos nocivos.

El método utilizado en nuestro estudio es el Método Colorimétrico mediante el reactivo de piridina-acido barbitúrico observando el cambio de color en el espectrofotómetro para utilización a 578nm (APHA et al., 1992), la gran cantidad de interferencias que presenta el cianuro para su análisis hace difícil su cuantificación en nuestro estudio siendo algunas de sus principales cobre y otros metales presentes en estas aguas (APHA et al., 1992).

Por último el cianuro es un compuesto altamente toxico por lo que el libro de Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales (APHA et al., 1992), recomendando usar las siguientes precauciones no solo en la toma de muestras sino también en el laboratorio: asegurarse que estar en un lugar aireado o en caso de laboratorio una campana y usar mascarilla para evitar la inhalación de gases de cianuro también se recomienda el uso de guantes y botas para evitar contacto de nuestra piel con la muestra.

3.3.5. Cobre

El cobre es un metal que se puede encontrar con facilidad en mínimas cantidades en el agua que consumimos diariamente por la corrosión en sistemas de distribución usado incluso en sistemas de suministro de agua para control de crecimientos biológicos, incluso el cobre es esencial para los seres humanos, se calcula en 2,0 mg la necesidad diaria de cobre para una persona adulta. (APHA et al., 1992)

Desde la toma de la muestra es esencial el análisis lo más pronto posible ya que este tiende a absorberse en los recipientes de las muestras.

El método a usarse en el laboratorio para el análisis del cobre es el Método Bicinconinato aceptado por la USEPA (United States Environmental Protection Agency - Agencia de Protección Ambiental de los E.E.U.U.), donde el cobre en la muestra reacciona con una sal del ácido bicinconinato, para formar un complejo de color purpura proporcional a la concentración de cobre. (HACH COMPANY, 2000)

Hay que tener en cuenta que para el análisis existen muchas interferencias por el contenido de cianuro y hierro en la muestra por lo que el laboratorio realizara los ajustes necesarios en la misma.

3.3.6. Arsénico

El arsénico es un metal muy toxico una cantidad pequeña del mismo como 100 mg puede ocasionar un grave envenenamiento, además de los efectos crónicos por su acumulación en el cuerpo por exposición repetida

a niveles bajos de arsénico. A este también se le atribuyen propiedades cancerígenas, la concentración de arsénico en agua potable raramente excede los 10ug/l aunque han sido registrados valores del orden de los 100ug/l. este metal puede encontrarse en el agua como resultado de una disolución de minerales, descargas industriales o aplicación de insecticidas.(APHA et al., 1992)

El método realizado para el análisis de arsénico en nuestra muestra es el Método de Dietilditiocarbamato de Plata, donde el arsénico inorgánico se reduce a arsina y luego en un tubo de absorción que contiene dietilditiocarbamato de plata disuelto en piridina el arsénico reacciona con la sal de plata formando un complejo rojo soluble adecuado para la medida de fotometría.(APHA et al., 1992)

3.3.7. Sulfuros

Los sulfuros encontrados usualmente en el agua subterránea, especialmente manantiales calientes. Su presencia es común en aguas residuales en parte a la descomposición de materia orgánica, presente en los residuales industriales, pero procede casi siempre de la reducción bacteriana de los sulfatos. El sulfuro de hidrogeno que escapa al aire a partir de aguas residuales con sulfuros produce olores molestos característicos. Su concentración en niveles altos ha ocasionado la muerte de numerosos trabajadores en alcantarillas. Ataca directa e indirectamente a los metales produciendo corrosiones y descomposición de los mismos.(APHA et al., 1992)

El análisis de laboratorio se lo realiza mediante el Método del Electrodo plata-sulfuro de plata, en donde el potencial de un electrodo plata-sulfuro de plata varía con la actividad del ion sulfuro en solución. Corrigiendo el coeficiente de actividad del ion y el pH se estima la concentración de sulfuro.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de resultados

Después de realizado el tratamiento de los efluentes de la planta de cianuración “COMINCOBOS S.A.”, en los cinco muestreos, se obtuvieron los siguientes resultados para cada contaminante (véase, Tabla 3), podemos identificar los parámetros analizados a la entrada y su posterior salida del tratamiento en cada uno de los muestreos realizados durante las campañas de monitoreo. Los cuadros resaltados representan rangos donde han ocurrido errores por lo que no han sido tomados en cuenta. Después de los cinco muestreos se presentan las medias de concentración a la entrada y salida, de igual manera las medias de concentración reducida en cada parámetro analizado.



Tabla 3. Reducción de contaminante por concentración (Véase, Anexo 3. Resultados de análisis de laboratorio)

	MUESTREO												
	1		2		3		4		5		MEDIA		
PARAMETROS A MEDIR	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA	CARGA REDUCIDA
Conductividad (mS/cm)	2.57	1.73	3.22	2.57	3.2	2.56	*3.19	*3.24	2.67	2.6	2.97	2.54	0.431
S. Disueltos (mg/L)	1437	968.00	1856	1406	1897	1602	2040	1746	1406	1347	1727.20	1413.8	313.4
S. Suspendidos (mg/L)	1320	823.0	1260	320	760	123	553	320	620	160	902.60	349.2	553.4
S. Totales (mg/L)	2757	1791.0	3116	1726	2657	1755	2593	2066	2026	1407	2629.80	1749.0	880.8
S. Sedimentables (ml/L)	0.01	0.03	0.01	0.001	0.001	0.001	*0.002	*0.02	0.3	0.001	0.06	0.01	0.054
pH	10	6.97	9.32	6.85	8.65	7.007	9.021	7.3	9.843	7.5	9.37	7.13	2.241
Cianuro libre (mg/L)	0.3	0.25	0.075	0.05	0.03	0.028	*0.316	*0.03	0.5	0.2	0.24	0.11	0.133
Sulfuro (mg/L)	3	1.60	3.6	2.8	3.6	1.64	3.73	1.57	0.229	0.215	2.83	1.57	1.267
Cobre (mg/L)	238	168.00	242	223	*216	*238	762	518	585	223	408.60	274.00	134.600
Arsénico (mg/L)	762	753	760	730	745	660	786	572	645	567	739.60	656.40	83.200

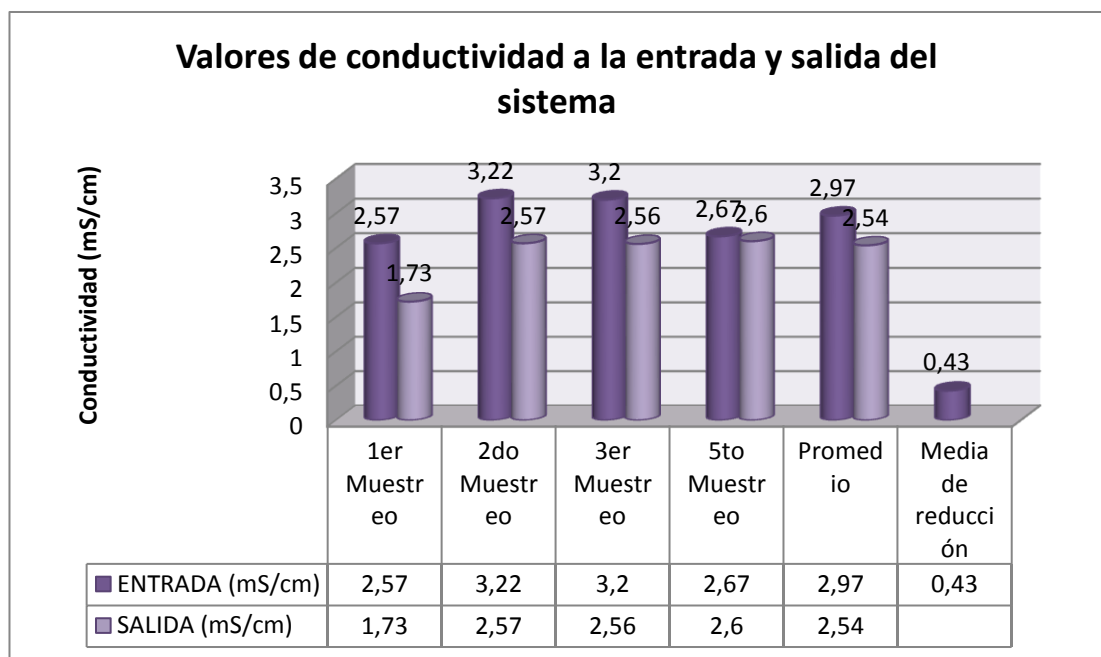
*.Valores que representan errores en los análisis (estudiados cada uno correspondientemente en el análisis individual de resultados en páginas posteriores)

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

4.1.1. Análisis de la conductividad

Se presenta el análisis de reducción parámetro conductividad eléctrica. En el Gráfico 1, se evidencia la reducción de conductividad en los muestreos realizados, con la excepción del muestreo cuatro donde se puede observar un aumento de 3.19mS /cm a 3.24mS/cm (Véase, Tabla 3), en este parámetro lo que más probablemente podría significar el acarreo de metales que han quedado depositados hacia la salida del sistema por lo que no se tomó en cuenta para el análisis. Así mismo se obtuvo la media de concentración tanto de entrada 2.97mS/cm como de salida 2.54mS/cm y una media de reducción durante los cuatro muestreos de 0.43mS/cm, en cinco días de tratamiento.

Gráfico 1. Reducción de la conductividad (concentración)



Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

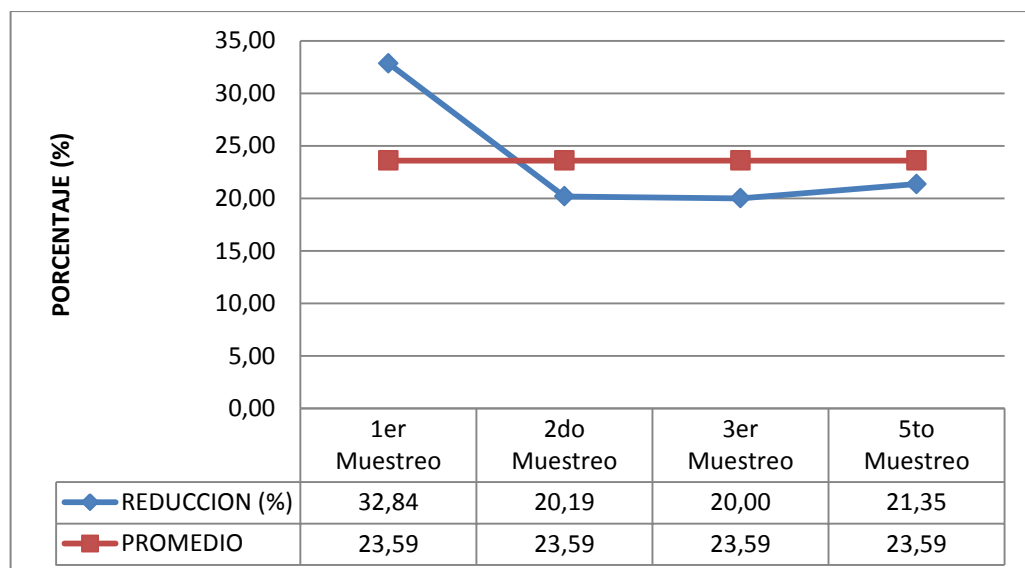
En la Tabla 4, se muestran los porcentajes de reducción por muestreo así como el máximo, mínimo, y promedio del porcentaje producido durante el estudio.

Tabla 4. Porcentajes de reducción de conductividad

Conductividad	REDUCCION (%)
1er Muestreo	32.84
2do Muestreo	20.19
3er Muestreo	20.00
5to Muestreo	2.62
% Máximo	32.84
% Mínimo	2.62
Promedio	18.91

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

En el Gráfico 2, es representada la tabla anterior, en el mismo se puede observar con una línea roja el valor promedio de 18.91% durante todo el estudio y en línea azul las concentraciones observadas en las diferentes muestras. Los porcentajes máximos y mínimos son 32.84% y 2.62% respectivamente.

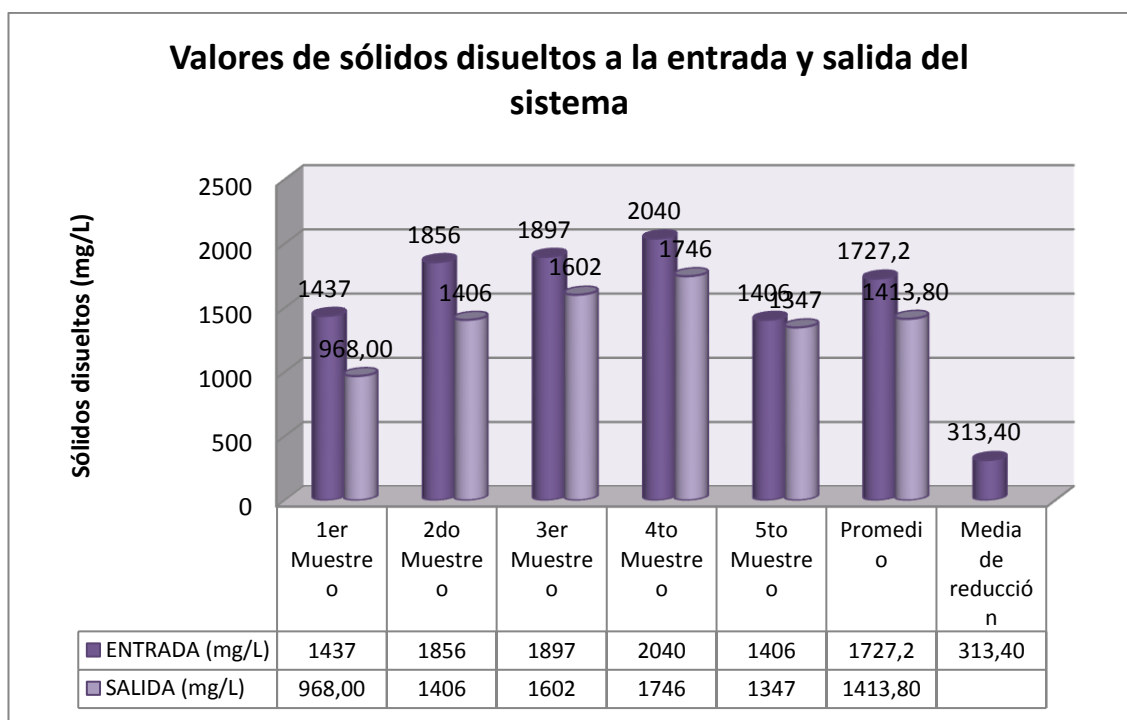
Gráfico 2. Reducción de conductividad

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

4.1.2. Análisis de sólidos disueltos

En el Gráfico 3, se evidencia una buena reducción de sólidos disueltos en todos los muestreos. Así mismo se obtuvo la media de concentración tanto de entrada 1727.2mg/L como de salida 1413.8mg/L y una media de reducción durante todos los cinco muestreos de 313.4mg/L, en 5 días de tratamiento.

Gráfico 3. Reducción de sólidos disueltos (concentración)



Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

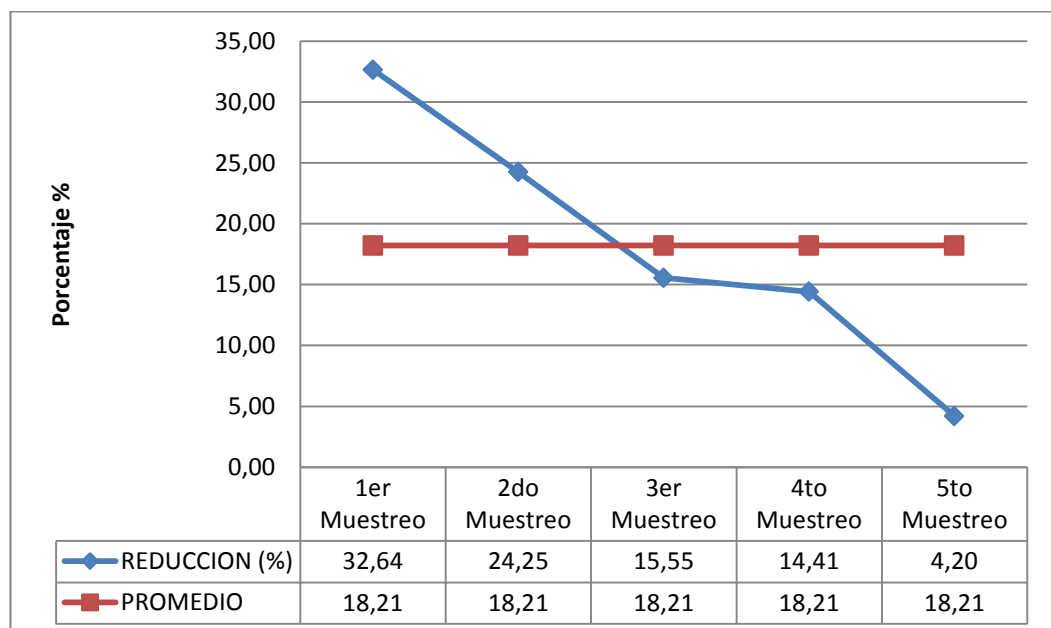
En la Tabla 5, se muestran los porcentajes de reducción por muestreo así como el máximo, mínimo, y promedio del porcentaje reducido durante el estudio.

Tabla 5. Porcentajes de reducción de sólidos disueltos

Sólidos disueltos	REDUCCION (%)
1er Muestreo	32.64
2do Muestreo	24.25
3er Muestreo	15.55
4to Muestreo	14.41
5to Muestreo	4.20
% Máximo	32.64
% Mínimo	4.20
Promedio	18.21

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

En el Gráfico 4, podemos observar el valor máximo de reducción de sólidos disueltos de 32.64% y el mínimo 4.2%, con un promedio de reducción de 18.21 % representado con una línea roja.

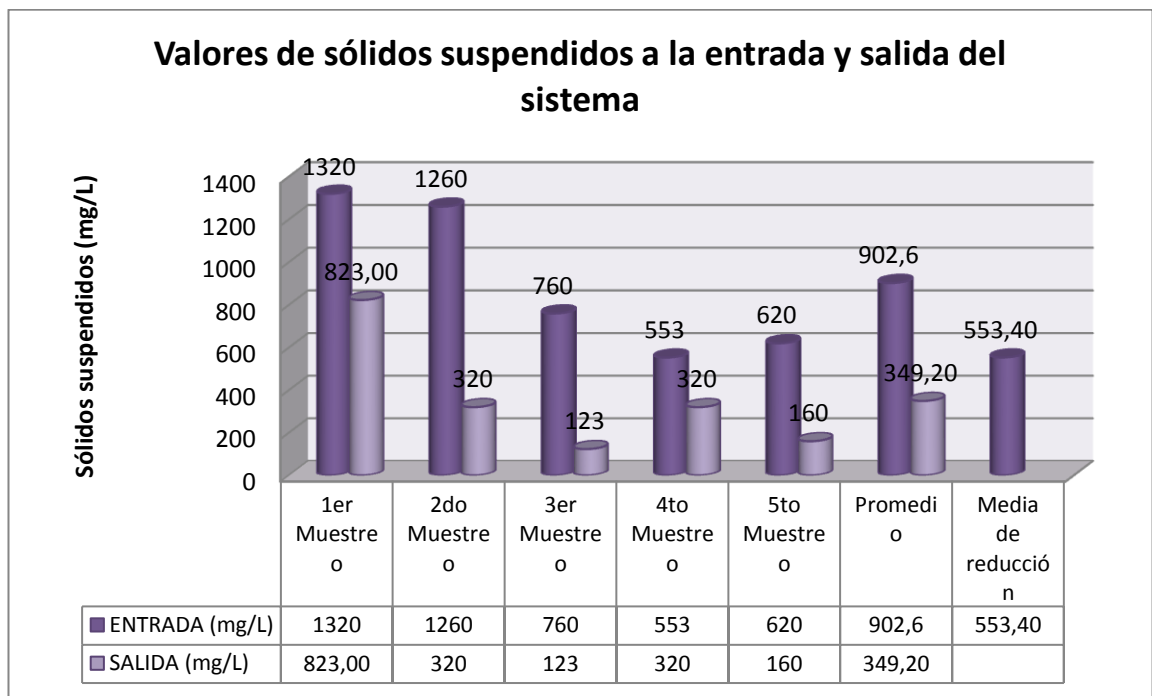
Gráfico 4. Reducción de sólidos disueltos

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

4.1.3. Análisis de sólidos suspendidos

En el Gráfico 5, se muestra la reducción de sólidos suspendidos en los 5 muestreos realizados, con un promedio a la entrada de 902.6mg/L y otro a la salida de 349.2mg/L, se observa una alta concentración reducida con una media de 553.4 mg/L.

Gráfico 5. Reducción de sólidos suspendidos (concentración)



Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

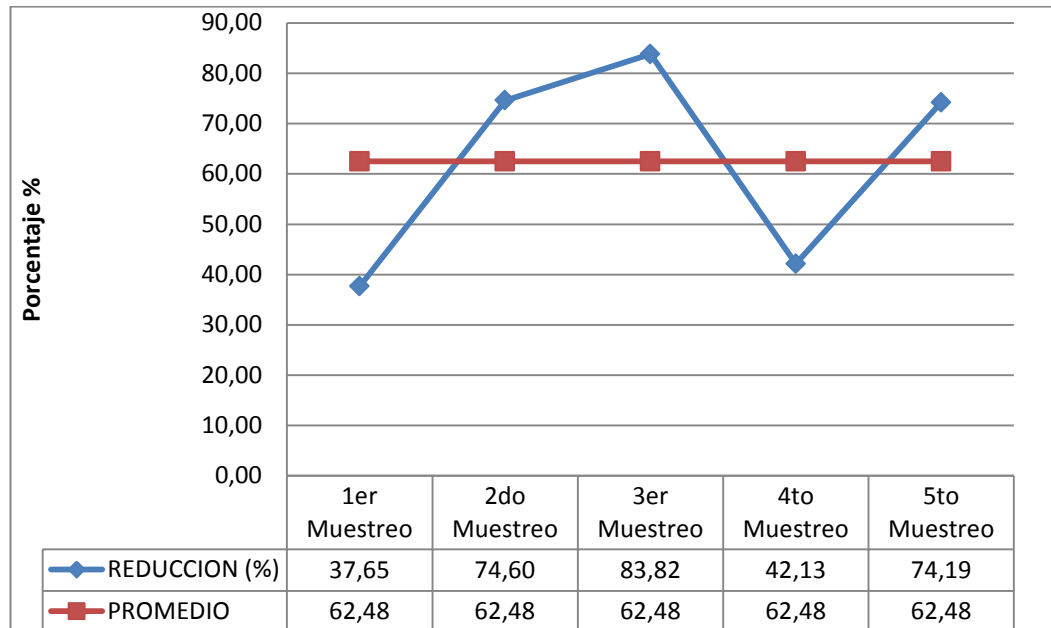
En la Tabla 6, se muestran los porcentajes de reducción por muestreo así como el máximo, mínimo, y promedio del porcentaje producido durante el estudio.

Tabla 6. Porcentajes de reducción de sólidos suspendidos

Sólidos Suspendidos	REDUCCION (%)
1er Muestreo	37.65
2do Muestreo	74.60
3er Muestreo	83.82
4to Muestreo	42.13
5to Muestreo	74.19
% Máximo	83.82
% Mínimo	37.65
Promedio	62.48

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

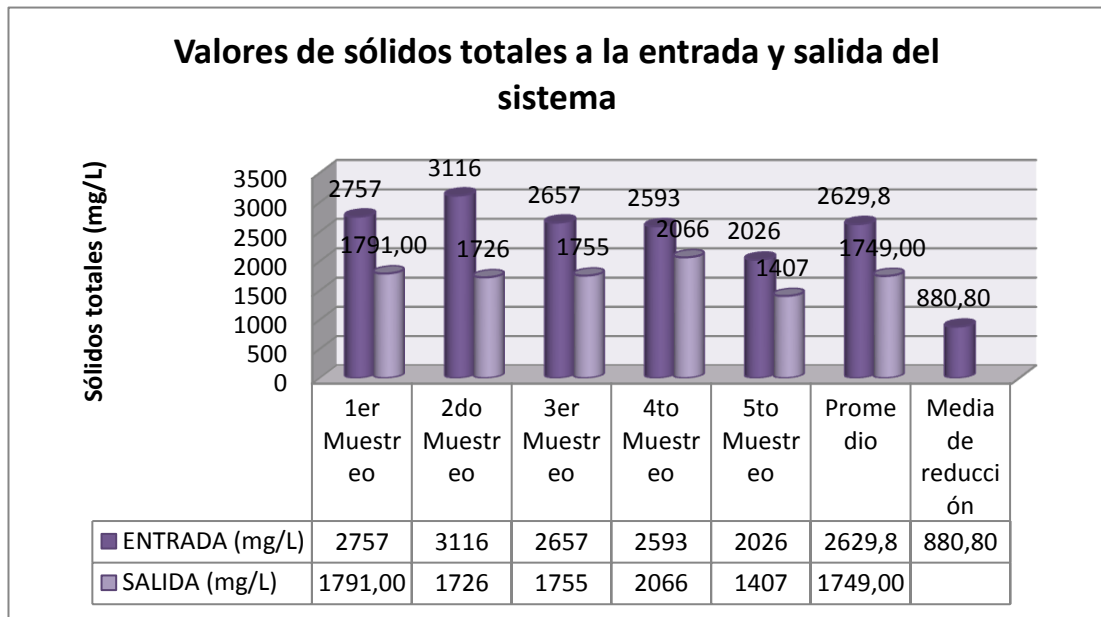
En el Gráfico 6, podemos observar el valor máximo 83.82% de reducción y el mínimo 37.65%, con un promedio de reducción de 62.48 % representado con una línea roja (véase, Gráfico 6), lo que significa más de la mitad de sólidos suspendidos retenidos por el sistema de tratamiento. Esto nos da una idea de la eficacia del material filtrante (grava) utilizado y su importancia en este tipo de sistemas, también las raíces de las plantas funcionan como cortinas para sedimentar el material y que de esta manera el sistema retenga este tipo de sólidos.

Gráfico 6. Reducción de sólidos suspendidos

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

4.1.4. Análisis de sólidos totales

Se presenta el análisis de reducción de los sólidos totales gráficamente y por tablas. En el Gráfico 7, se muestra la reducción de sólidos totales en los 5 muestreos realizados, con un promedio a la entrada y otro a la salida, evidenciando mediante nuestro sistema de tratamiento una alta concentración reducida con una media de 880.8 mg/L. Lo que evidencia la capacidad de absorción de las plantas y del estrato utilizado.

Gráfico 7. Reducción de sólidos totales (Concentración)

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

En la Tabla 7, se muestra la reducción de sólidos totales en los 5 muestreos realizados, con porcentajes máximos, mínimos y un promedio de reducción en el sistema.

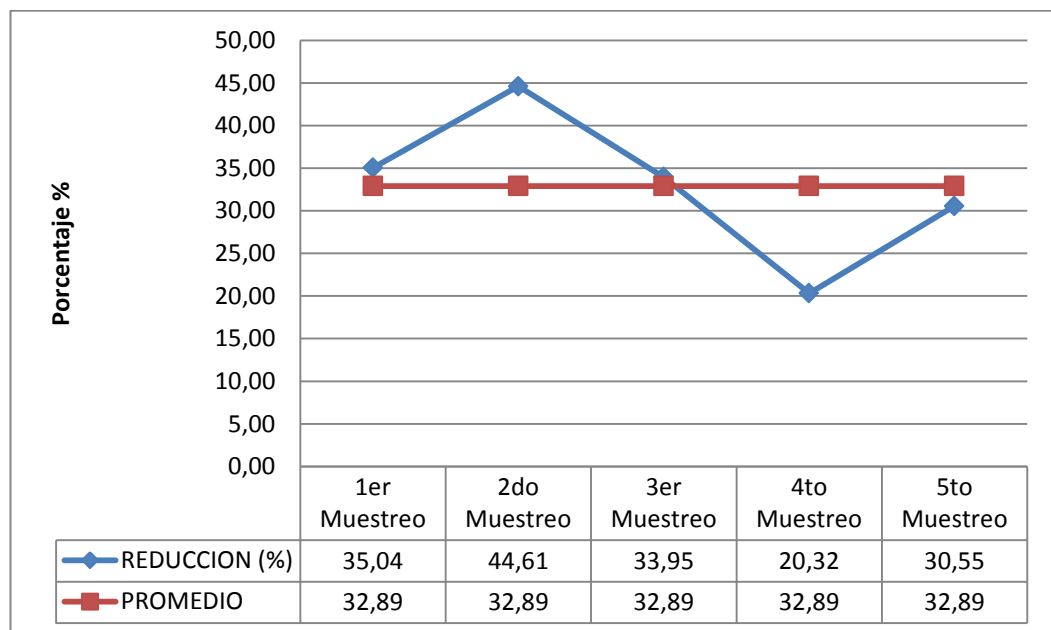
Tabla 7. Porcentajes de reducción de sólidos totales

Sólidos Totales	REDUCCION (%)
1er Muestreo	35.04
2do Muestreo	44.61
3er Muestreo	33.95
4to Muestreo	20.32
5to Muestreo	30.55
% Máximo	44.61
% Mínimo	20.32
Promedio	32.89

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

En el Gráfico 8 podemos observar el valor máximo 44.61% de reducción y el mínimo 20.32% con un promedio de reducción de 32.89% representado con una línea roja. Al igual que todos los sólidos se presentan resultados muy favorables en cuanto a su reducción y uniformes durante el transcurso del estudio.

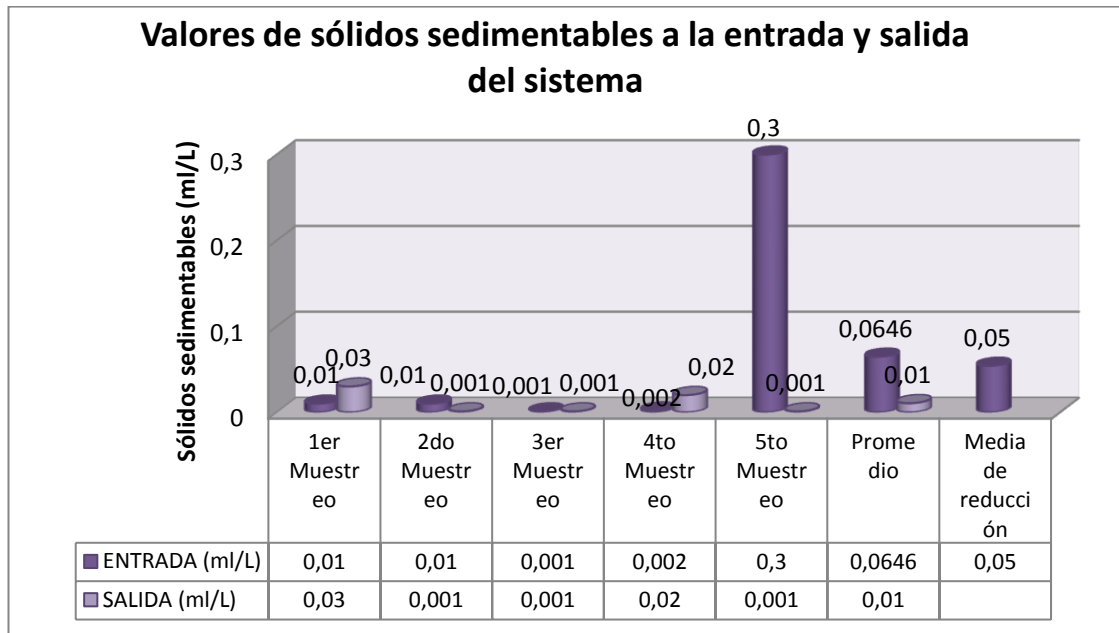
Gráfico 8. Reducción de sólidos totales



Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

4.1.5. Análisis de sólidos sedimentables

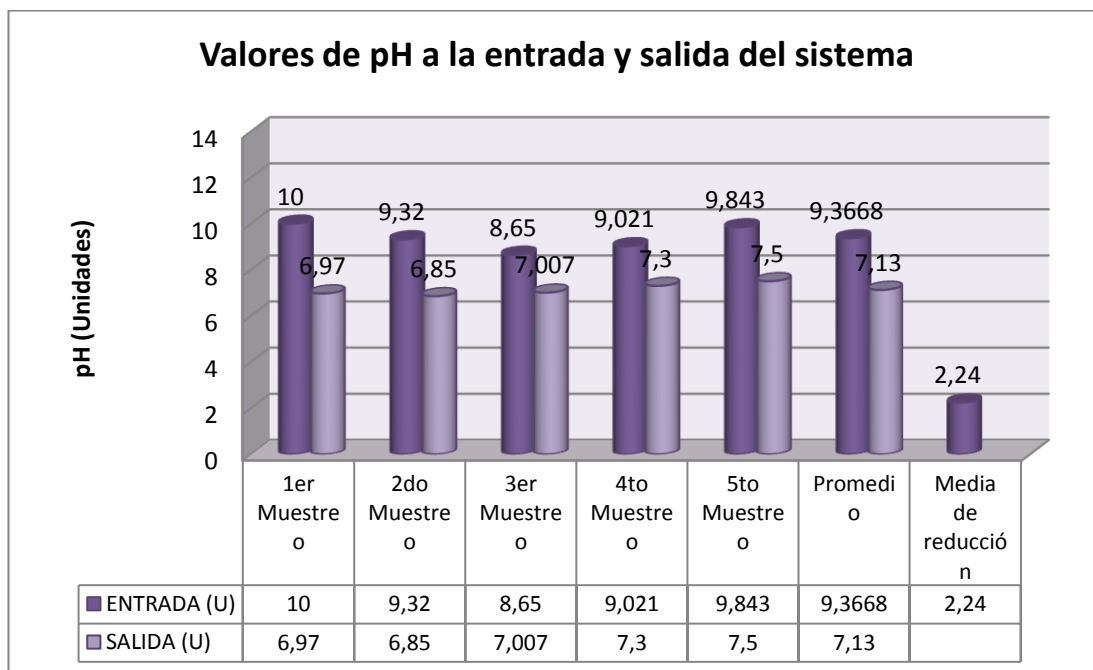
En el Gráfico 9, se puede evidenciar como los valores de sólidos sedimentables varían considerablemente debido a sus valores muy despreciables por lo que serán omitidos para el análisis. Las variaciones se pueden deber a la grava que poseía cantidades muy bajas de sólidos, aún después de su lavado para ser colocada en el tanque de tratamiento, por lo que estos podrían variar las características de entrada del agua a tratar, otro aspecto importante puede ser que los valores de sólidos sedimentables representan concentraciones muy bajas que están cerca de las concentraciones mínimas detectables por el laboratorio en este parámetro en particular.

Gráfico 9. Reducción de sólidos sedimentables (Concentración)

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

4.1.6. Análisis de pH

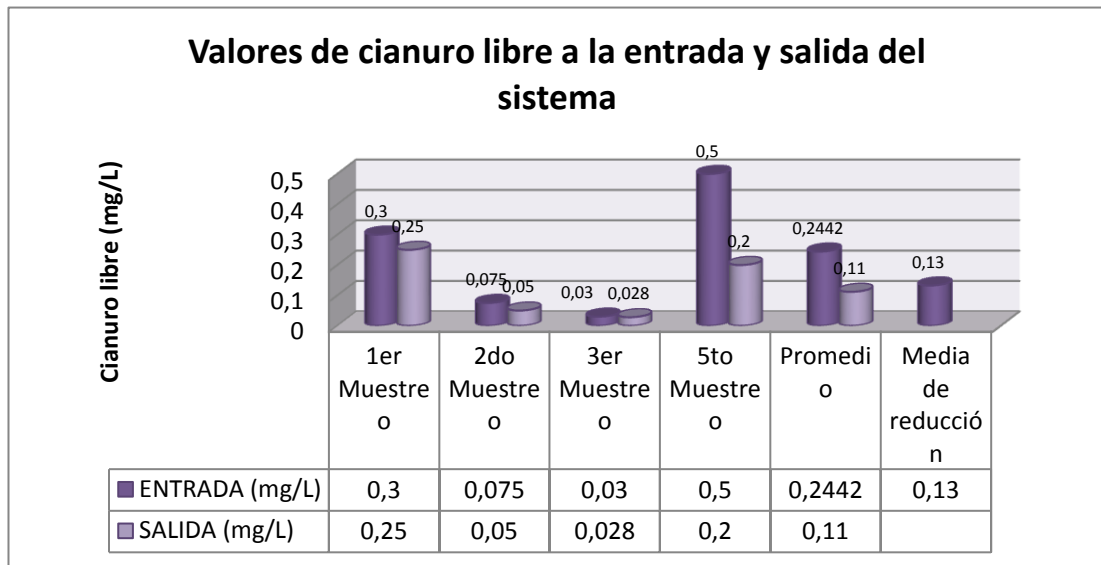
Se presenta el análisis de reducción de pH. En el Gráfico 10 se puede evidenciar la reducción de pH en los 5 muestreos realizados, con un promedio a la entrada y otro a la salida, se observa una buena capacidad de neutralización de pH llegando en todos los muestreos a niveles muy cercanos a 7 o neutro, con una media de reducción de 2.24 unidades.

Gráfico 10. Reducción de pH (Valores)

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

4.1.7. Análisis de Cianuro libre

Se presenta el análisis de reducción de cianuro libre. En el Gráfico 11 se muestra la reducción de cianuro libre en los 4 muestreos que se hicieron válidos para el análisis, con un promedio a la entrada y otro a la salida, no se tomó en cuenta el muestreo número cuatro ya que se observa una disminución muy alta en cuanto a concentración (Véase, Tabla 3), lo que puede significar una falla de laboratorio por la existencia de importantes interferencias que presenta el cianuro para su análisis en este tipo de aguas y/o una falla en la manipulación de la misma por el alto grado de inestabilidad del cianuro. Se obtiene una media de reducción de cianuro libre de 0.13 mg/L en cinco días de tratamiento.

Gráfico 11. Reducción de cianuro libre (Concentración)

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

En la Tabla 8, se muestra la reducción de cianuro libre en los 4 muestreos considerados para el análisis, con porcentajes máximos, mínimos y un promedio de reducción en el sistema.

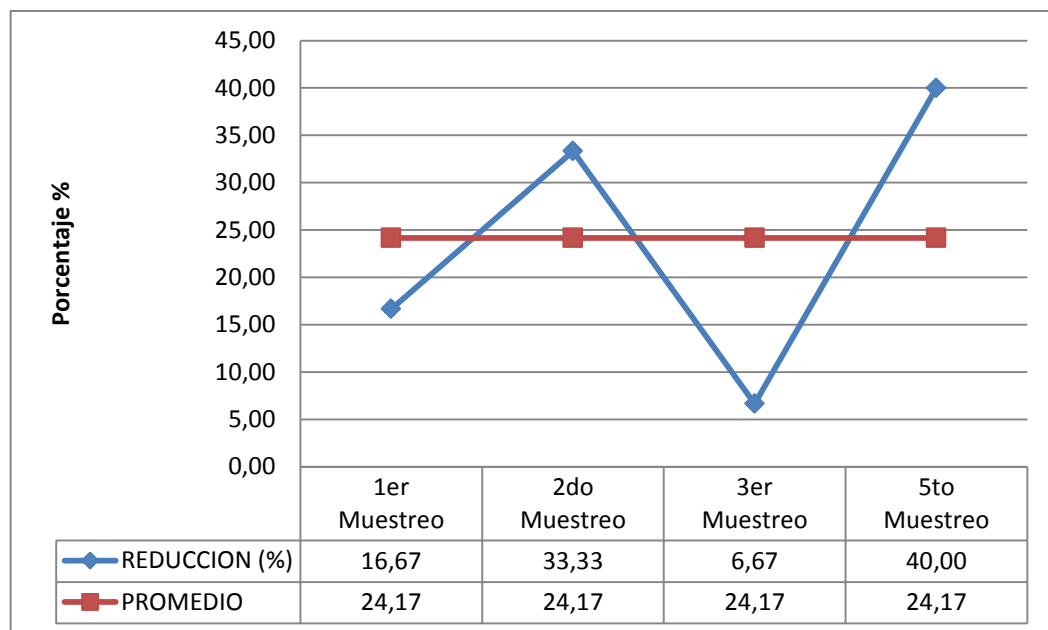
Tabla 8. Porcentajes de reducción de cianuro libre

Cianuro libre	REDUCCION (%)
1er Muestreo	16.67
2do Muestreo	33.33
3er Muestreo	6.67
5to Muestreo	60.00
% Máximo	60.00
% Mínimo	6.67
Promedio	29.17

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

En el Gráfico 12, se puede observar los porcentajes de reducción de cianuro libre durante los cuatro muestreos, se puede evidenciar variaciones considerables a lo largo del estudio que probablemente se podría deber a los cambios en la intensidad de lluvia, ya que aunque el estudio fue realizado en época de sequía, el clima de la zona es muy variable y existen días lluviosos durante todo el año, lo que podría haber provocado mejor dilución de contaminantes en el humedal. El promedio de variación de cianuro a lo largo del estudio es de 29.17%, con un máximo de 60% y un mínimo de 6.67%. Esto nos da una idea de la alta capacidad de este sistema en cuanto a reducción de cianuro comparado a otros tratamientos de bajo costo o naturales.

Gráfico 12. Reducción de cianuro libre



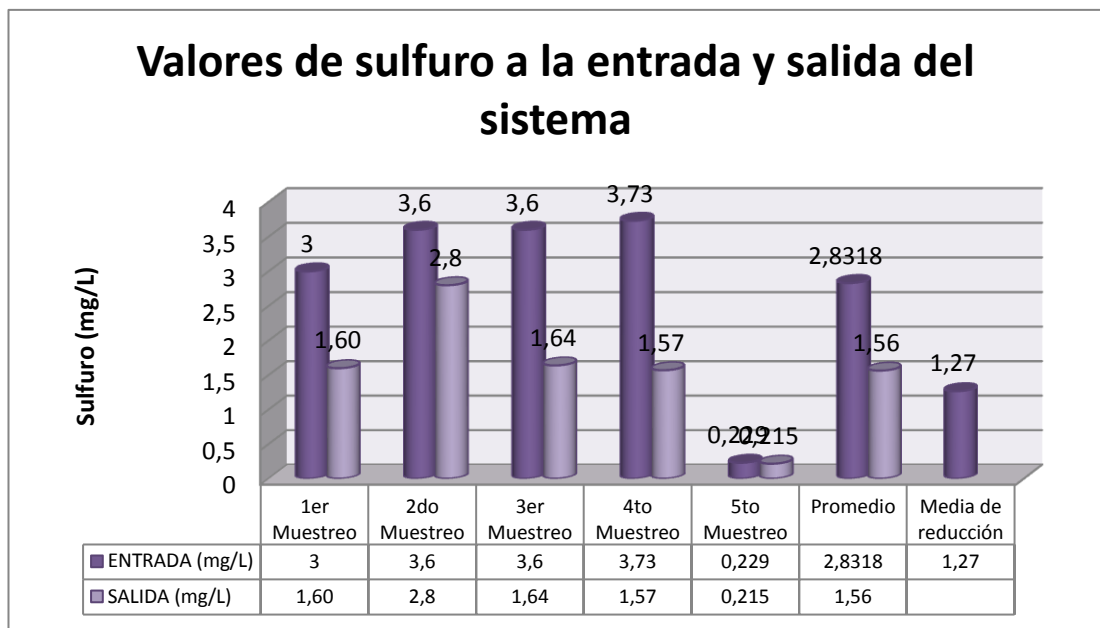
Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

Hay que tener en cuenta que el cianuro es un compuesto muy inestable no solo al manipularlo para realizar el muestro sino también al reaccionar con el medio en el que se encuentra.

4.1.8. Análisis de Sulfuro

Se presenta el análisis de reducción de sulfuro gráficamente y por tablas. En el Gráfico 13, se muestra la reducción de sulfuro en los 5 muestreos realizados, con un promedio a la entrada y otro a la salida. Se obtiene una media de reducción de sulfuro de 1.27 mg/L en cinco días de tratamiento, durante todo el estudio.

Gráfico 13. Reducción de sulfuro (Concentración)



Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

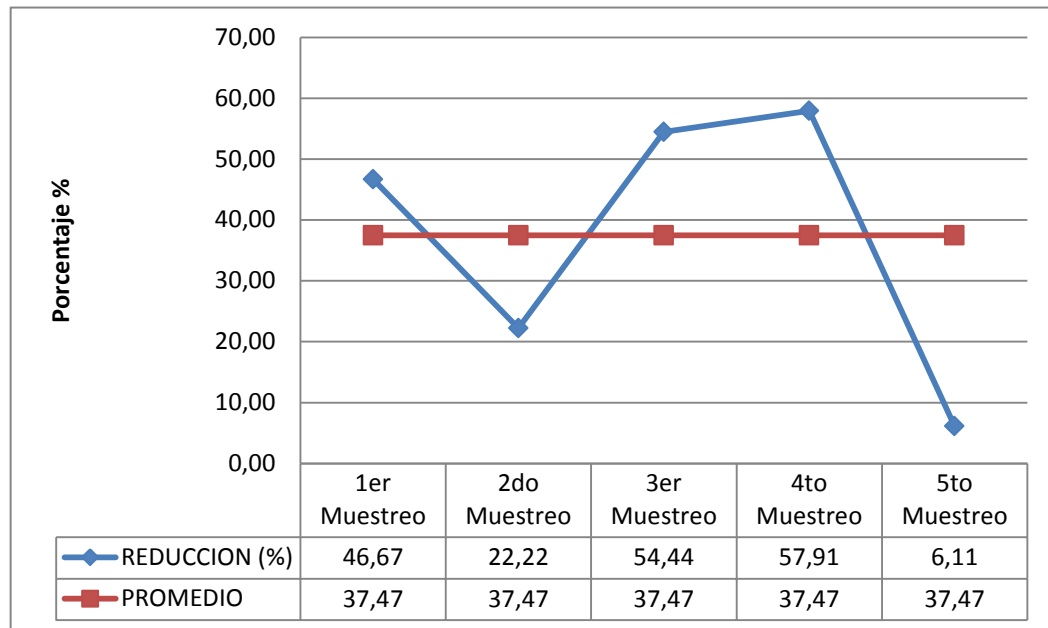
En la Tabla 9, se muestra la reducción de sulfuro en los 5 muestreos realizados, con porcentajes máximos, mínimos y un promedio de reducción en el sistema.

Tabla 9. Porcentajes de reducción de sulfuro

Sulfuro	REDUCCION (%)
1er Muestreo	46.67
2do Muestreo	22.22
3er Muestreo	54.44
4to Muestreo	57.91
5to Muestreo	6.11
% Máximo	57.91
% Mínimo	6.11
Promedio	37.47

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

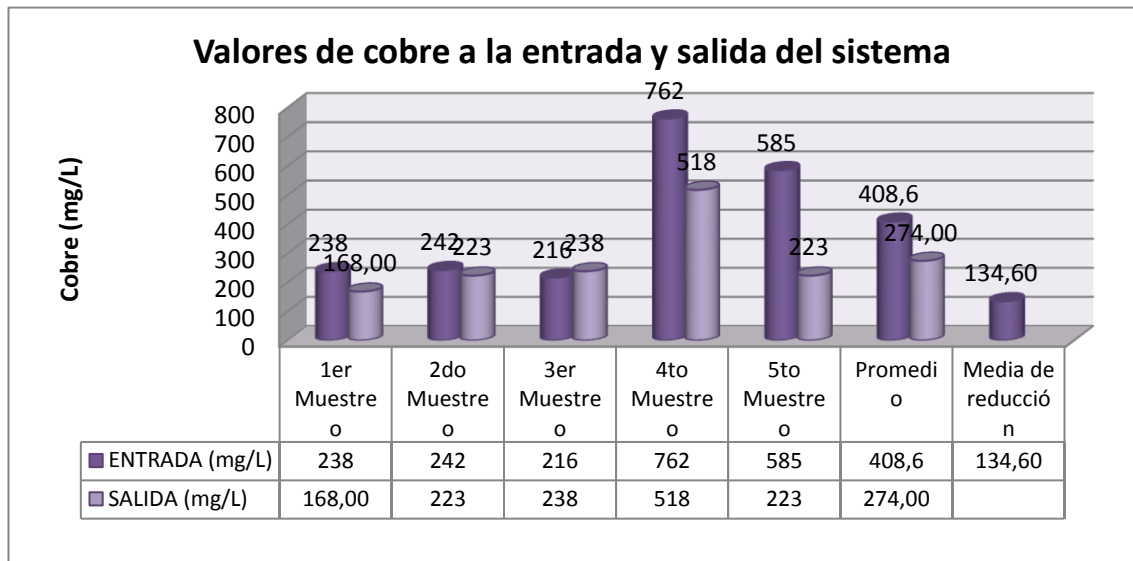
En el Gráfico 14, podemos observar el valor máximo 57.91% de reducción y el mínimo 6.11% con un promedio de reducción de 37.47% representado con una línea roja (véase, Gráfico 14), lo que significa una buena absorción de sulfuro en el sistema, el último dato representa una baja considerable en cuanto a reducción de sulfuro que podría deberse a que los valores de entrada también fueron muy bajos a comparación de los anteriores muestreos.

Gráfico 14. Reducción de sulfuro

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

4.1.9. Análisis de Cobre

Se presenta el análisis de reducción de cobre gráficamente y por tablas. En el Gráfico 15, se muestra la reducción de cobre en los 5 muestreos realizados, con un promedio a la entrada y otro a la salida. Se obtiene una media de reducción de cobre de 134.6 mg/L en cinco días de tratamiento. El muestreo número tres no será tomado en cuenta para el análisis ya que como se evidencia en el gráfico (Véase, Gráfico 15), existe un aumento de concentración lo que podría significar el acarreo de material de pequeños depósitos de metales en este tipo de sistemas.

Gráfico 15. Reducción de cobre (Concentración)

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

En la Tabla 10, se muestra la reducción de cobre en los 4 muestreos que se han tomado en cuenta para el análisis, con porcentajes máximos, mínimos y un promedio de reducción en el sistema.

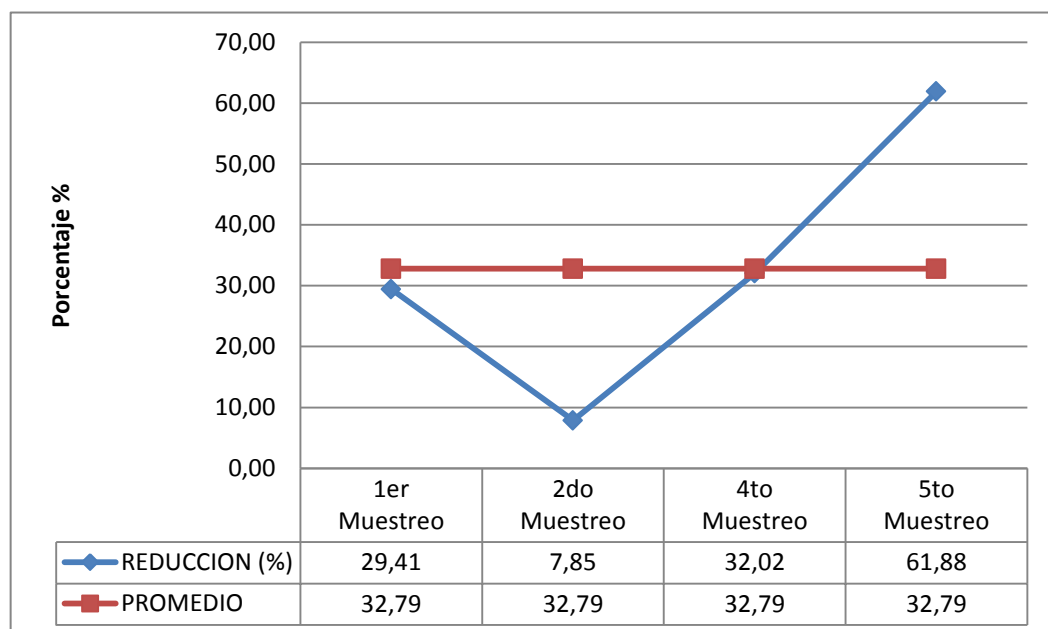
Tabla 10. Porcentajes de reducción de cobre

Cobre	REDUCCION (%)
1er Muestreo	29.41
2do Muestreo	7.85
4to Muestreo	32.02
5to Muestreo	61.88
% Máximo	61.88
% Mínimo	7.85
Promedio	32.79

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

En el Gráfico 16, podemos observar el valor máximo 61.88% de reducción y el mínimo 7.85% con un promedio de reducción de 32.79 % representado con una línea roja. Estos porcentajes representan una buena reducción en comparación a sistemas de tratamiento similares demostrando una alta eficacia en disminución de metales. Esta absorción se debe a que las raíces crean microambientes de reducción y oxidación generando la biomasa necesaria para el soporte del humedal, esto nos puede conducir a que se necesitaría un tiempo de adaptación mayor de las plantas con este tipo de efluentes para lograr mejores resultados.

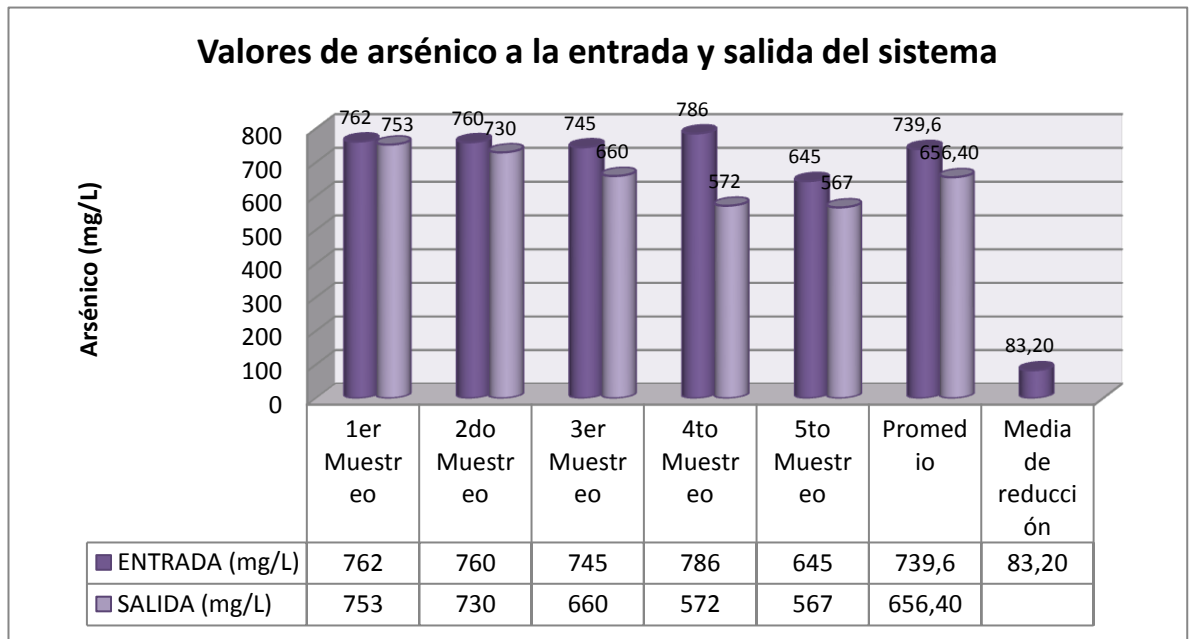
Gráfico 16. Reducción de cobre



Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

4.1.10. Análisis de Arsénico

En el análisis de reducción de arsénico (Véase, Gráfico 17), se muestra la reducción de arsénico en los 5 muestreos realizados, con un promedio a la entrada de 739.6mg/L y otro a la salida de 656.4mg/L. Se obtiene una media de reducción de arsénico de 83.2mg/L en cinco días de tratamiento. Un valor no muy alto a comparación de los valores de entrada ya que el arsénico es un metal de muy difícil tratamiento en los efluentes lo que hace necesario tratamientos preliminares.

Gráfico 17. Reducción de arsénico (Concentración)

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

En la Tabla 11, se muestra la reducción de arsénico en los 5 muestreos realizados, con porcentajes máximos, mínimos y un promedio de reducción en el sistema.

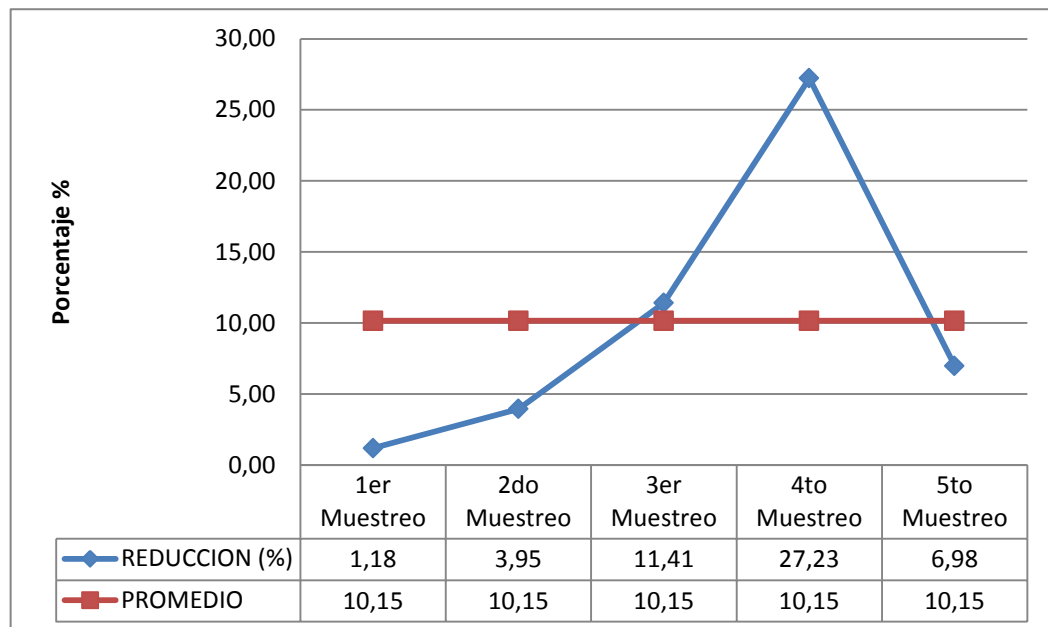
Tabla 11. Porcentajes de reducción de arsénico

Arsénico	REDUCCION (%)
1er Muestreo	1.18
2do Muestreo	3.95
3er Muestreo	11.41
4to Muestreo	27.23
5to Muestreo	12.09
% Máximo	27.23
% Mínimo	1.18
Promedio	11.17

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

En el Gráfico 18, podemos observar el valor máximo 27.23% de reducción y el mínimo 1.18% con un promedio de reducción de 11.17% representado con una línea roja.

Gráfico 18. Reducción de arsénico



Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

4.2. Comparación con la norma TULSMA

4.2.1. Conductividad

No existen límites máximos permisibles en el TULSMA para conductividad.

4.2.2. Sólidos disueltos

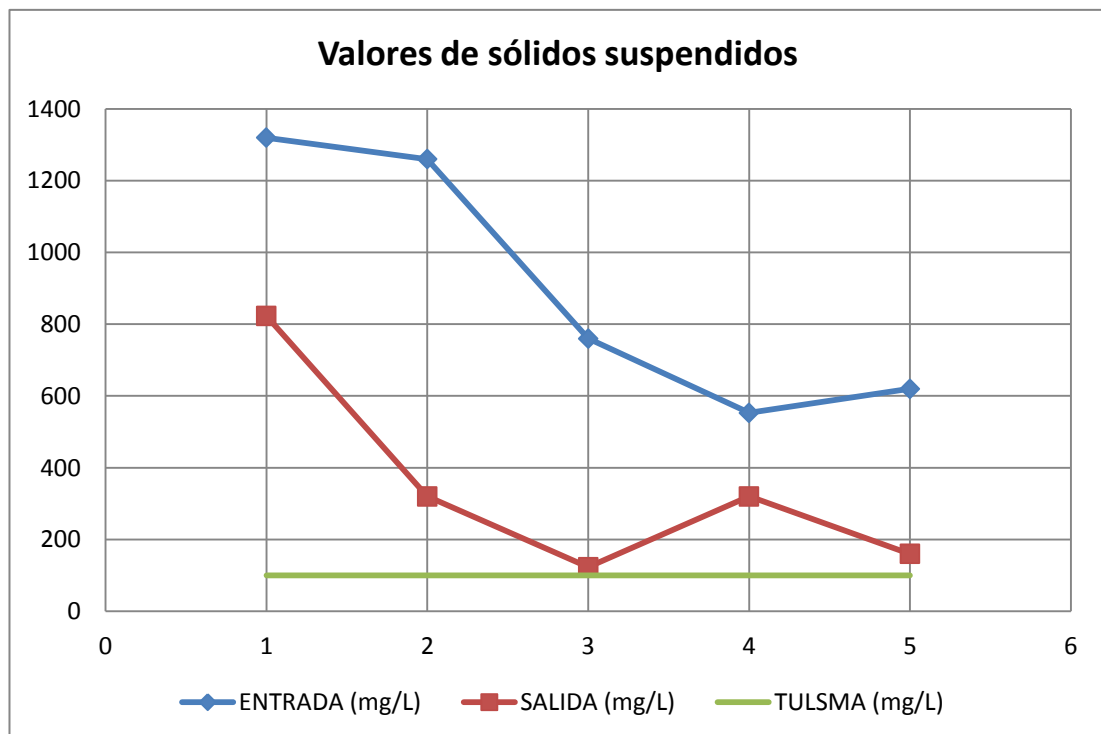
No existen límites máximos permisibles en el TULSMA para sólidos disueltos.

4.2.3. Sólidos suspendidos

En el Gráfico 19, se puede observar la disminución de los valores de sólidos suspendidos a la entrada (azul) y salida (rojo), a comparación de la norma

TULSMA para sólidos suspendidos 100 mg/L (verde). Se puede evidenciar el alto porcentaje de sólidos suspendidos retenidos en el sistema llegando incluso a pasar muy cerca de los límites máximos permisibles de la Normativa ecuatoriana TULSMA. Esta reducción se atribuye principalmente al estrato poroso por el cual pasa el efluente al ser tratado.

Gráfico 19. Comparación de los valores de sólidos suspendidos con el TULSMA



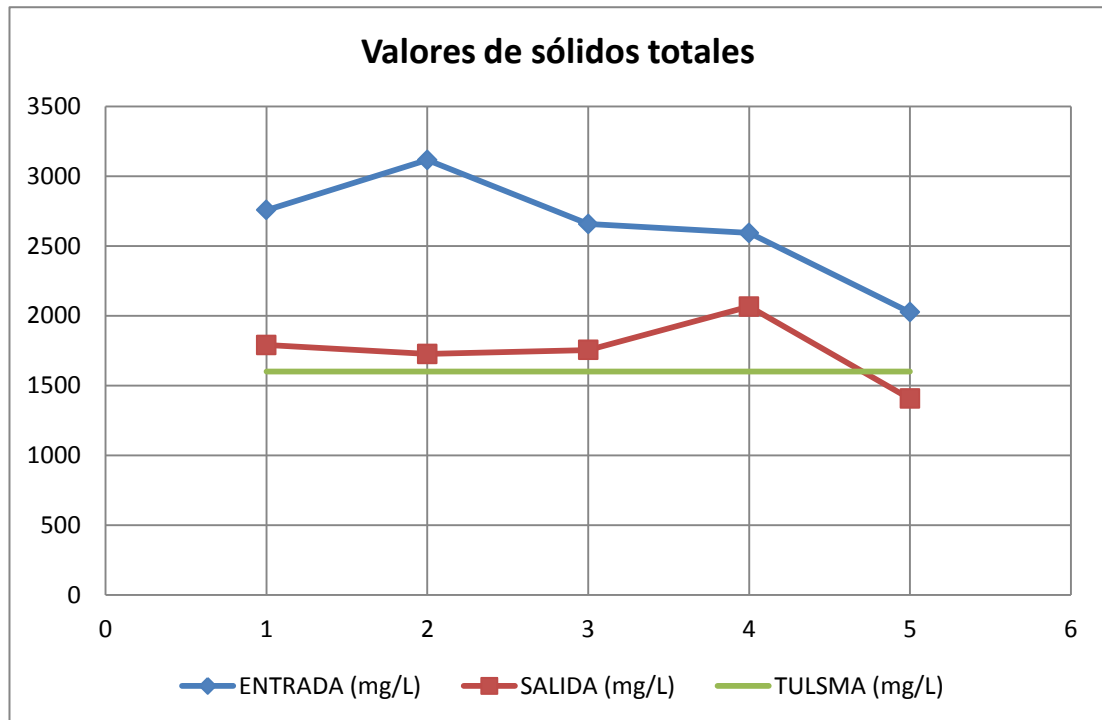
Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

4.2.4. Sólidos totales

En el Gráfico 20 se puede observar la disminución de sólidos totales de entrada y salida (azul y rojo), con el límite máximo permisible del TULSMA (verde). También se puede evidenciar como los porcentajes de reducción durante el estudio se mantienen con un similar comportamiento (tendencia), llegando a permanecer las concentraciones en los diferentes efluentes monitoreados en valores muy cercanos al límite máximo permisible establecido en la legislación, e incluso en la última campaña el resultado

obtenido en el laboratorio se encuentra por debajo de este mencionado límite (LMP).

Gráfico 20. Comparación de los valores de sólidos totales con el TULSMA

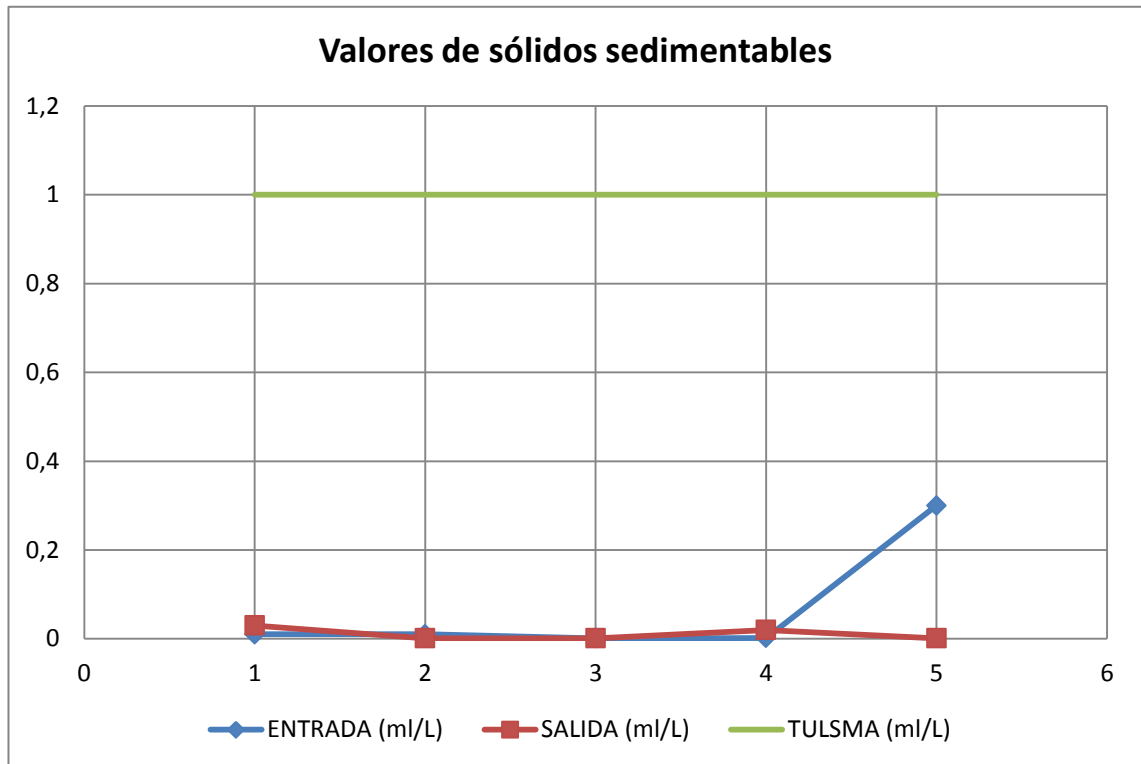


Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

4.2.5. Sólidos sedimentables

En el Gráfico 21, se puede observar las variaciones de sólidos sedimentables de entrada y salida (rojo y azul), y el límite máximo permisible (verde) 1ml/L. Podemos evidenciar que aunque los datos no son válidos para el estudio ya que sus valores son insignificantes para poderlos comparar de una manera efectiva, los valores se encuentran muy por debajo de la normativa tanto a la entrada como a la salida del sistema.

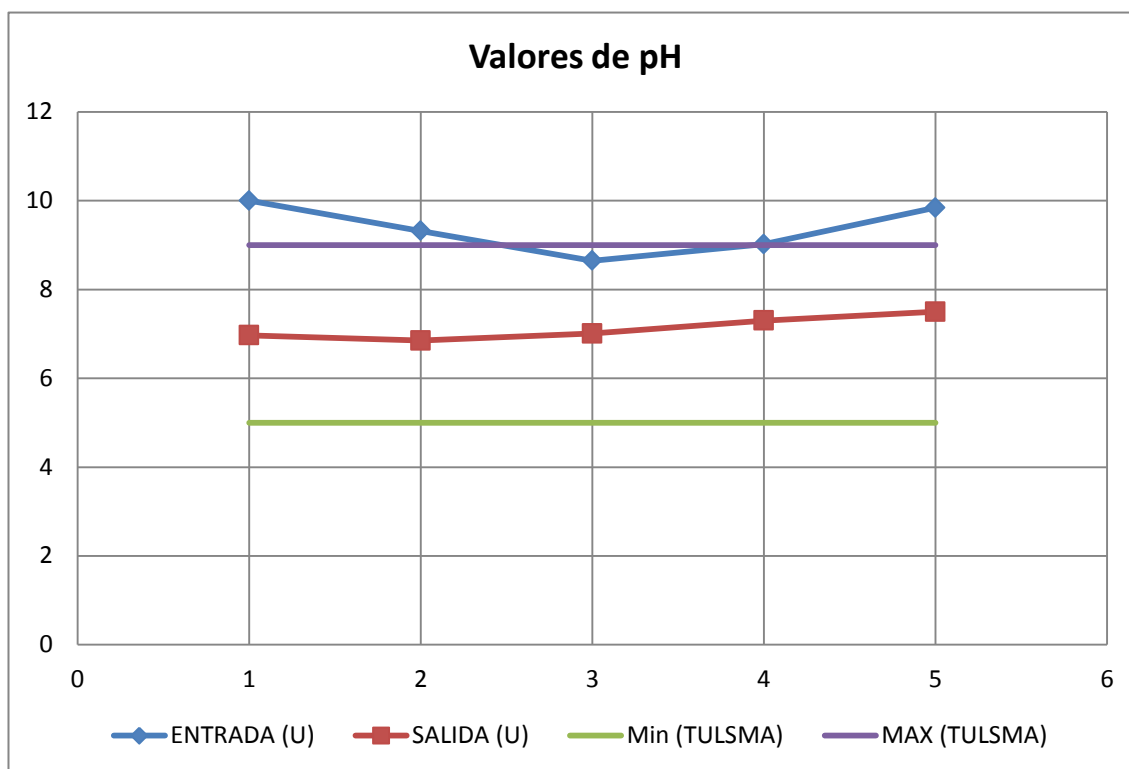
Gráfico 21. Comparación de los valores de sólidos sedimentables con el TULSMA



Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

4.2.6. Potencial hidrogeno

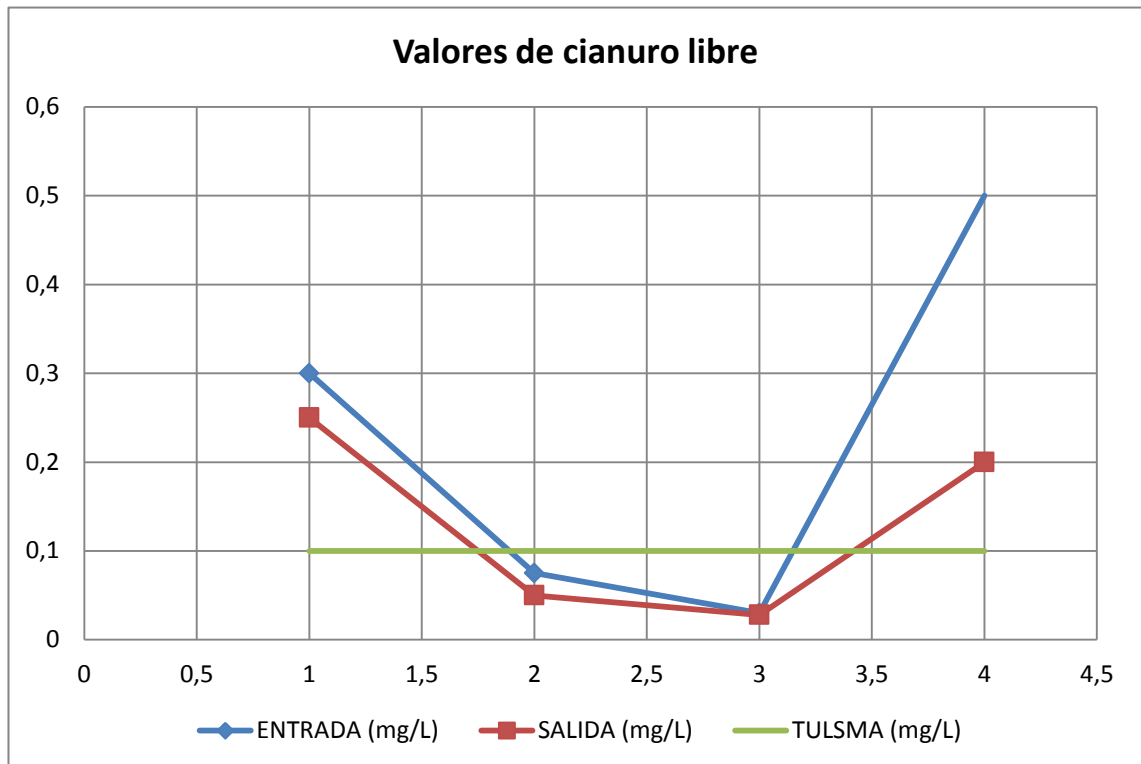
En el Gráfico 22, se muestran los valores de entrada casi uniformes (azul), del orden de 10 unidades reducidos muy eficazmente a valores neutros muy cercanos a 7 unidades (rojo), a comparación con el valor máximo y mínimo de pH en el TULSMA entre 5 y 9 (morado y verde), (Ministerio del Ambiente, n.d.), por lo que se comprueba una alta efectividad del sistema para mejorar el pH de este tipo de efluentes.

Gráfico 22. Comparación valores de pH con el TULSMA

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

4.2.7. Cianuro libre

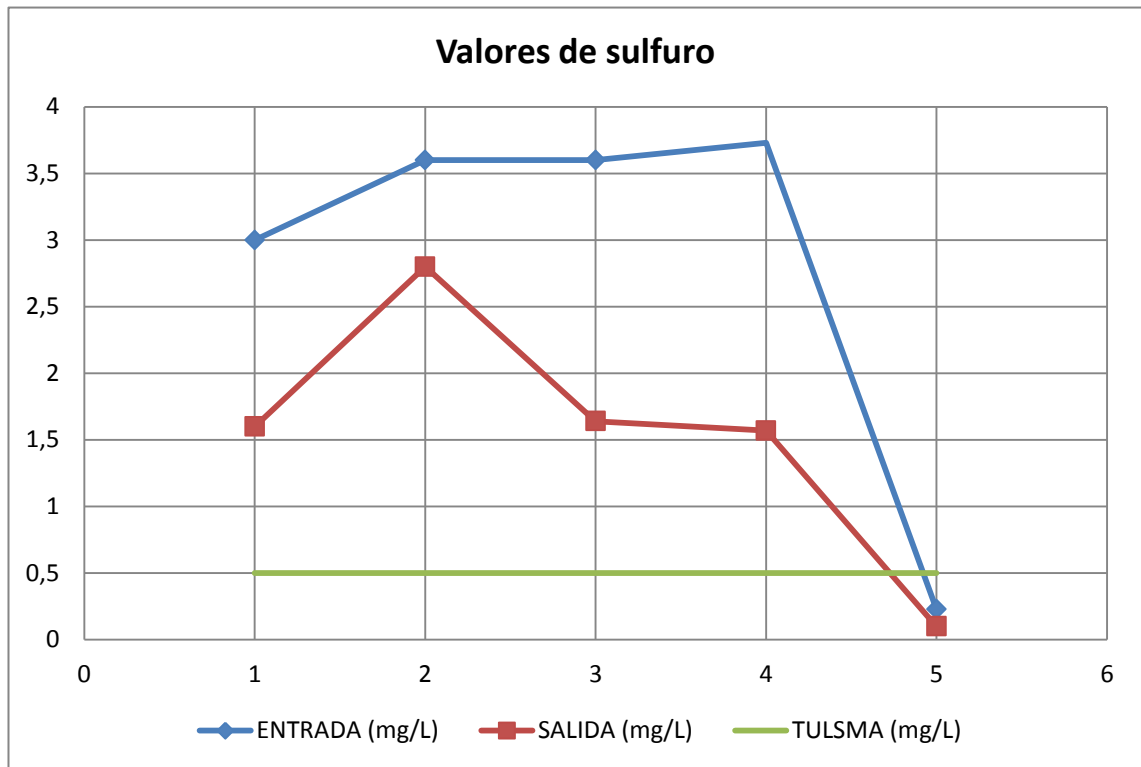
En el Gráfico 23 se puede comparar los valores de entrada y salida del sistema de tratamiento (azul y verde), con el límite máximo permisible del TULAS 0.1 mg/L (verde). Se puede evidenciar una capacidad uniforme de reducción de cianuro a lo largo de todo el estudio con cinco días de tratamiento, que podría ser muy útil para llevarlo a cabo como un tratamiento final y de bajo costo de este tipo de efluentes. Incluso se ha comprobado la capacidad de resistencia de la especie *Typha Latifolia*, a aguas considerablemente contaminadas.

Gráfico 23. Comparación valores de cianuro libre con el TULSMA

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

4.2.8. Sulfuro

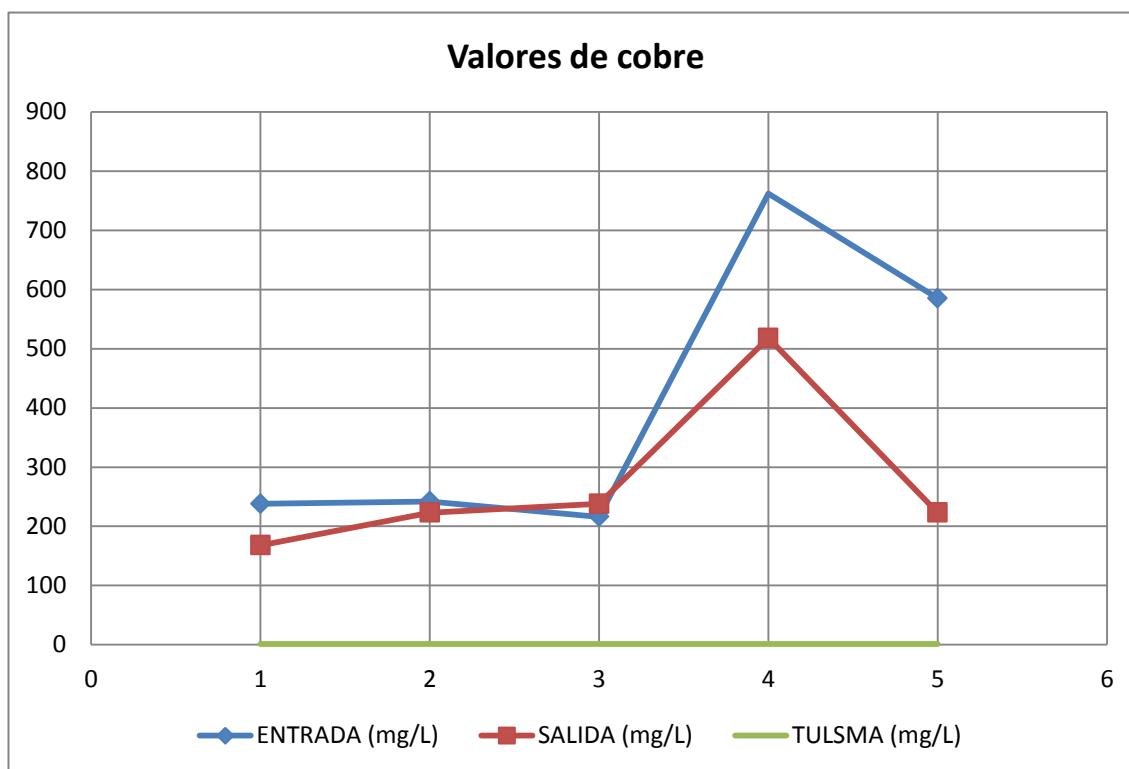
En el Gráfico 24, se puede observar los valores de entrada y salida del sistema de tratamiento (azul y rojo), a comparación del límite máximo permisible en el TULSMA 0.5 mg/L (verde). Se puede observar una buena capacidad de reducción de sulfuro del sistema llegando a valores muy cercanos al límite máximo permisible. Este tipo de tratamiento se podría utilizar para concentraciones bajas de sulfuros con excelentes resultados debido a la capacidad oxidante de las bacterias que se reproducen en este medio.

Gráfico 24. Comparación valores de sulfuro con el TULSMA

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

4.2.9. Cobre

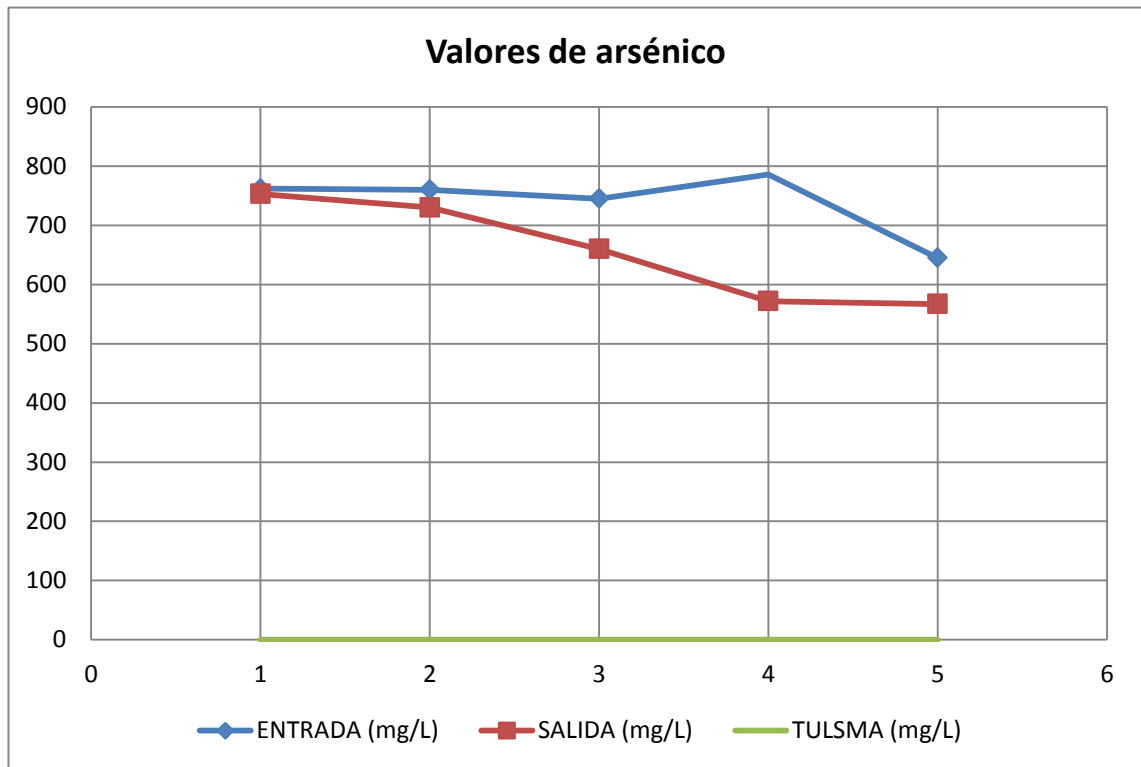
En el Gráfico 25, se puede observar los valores de entrada y salida del sistema de tratamiento (azul y rojo), a comparación del límite máximo permisible en el TULSMA 0.5mg/L (verde). Podemos evidenciar un comportamiento similar de reducción de este metal en todos los muestreos con cinco días de tratamiento durante el estudio. Como ya se habló anteriormente la capacidad de reducción de metales se debe a que las raíces de las plantas se encargan de crear microambientes estimulando la reproducción de bacterias que se encargaran de oxidar y reducir metales transformándolos en la biomasa que se utilizará para su desarrollo.

Gráfico 25. Comparación valores de cobre con el TULSMA

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

4.2.10. Arsénico

En el Gráfico 26, se observa la disminución de arsénico a la entrada y salida del sistema de tratamiento (azul y verde), y el límite máximo permisible en el TULSMA 1mg/L (verde). Notando al igual que el metal anteriormente estudiado una reducción casi uniforme durante el estudio, aunque todavía muy alejada de los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA, este tipo de reducción muy baja se debe a que el arsénico necesita tratamientos químicos para su sedimentación y consecuente reducción en este tipo de efluentes por lo que hace necesario un tratamiento preliminar físico-químico, aunque con los resultados conseguidos este sistema se vuelve muy viable como tratamiento final para la reducción de este tipo de metales.

Gráfico 26. Comparación valores de arsénico con el TULSMA

Elaboración: Juan Pesántez Vallejo

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

De carácter general

- I. Este trabajo es una contribución a los estudios que se realizan sobre la utilización de humedales artificiales o contruidos en el tratamiento de residuales y en donde se conjugan procesos de depuración o saneamiento físicos, químicos y biológicos.
- II. Las pruebas realizadas constituyen un aporte al conocimiento del funcionamiento de estos sistemas de depuración en las condiciones de clima semi húmedo (Ecuador-Azuay-Ponce Enríquez) en alturas cercanas a los 650 m.s.n.m., utilizando residual proveniente de actividades industriales humanas (industrias de minería de oro).

Respecto a la remoción de contaminantes

- III. Los sistemas naturales de tratamiento son efectivos en la remoción de sólidos. Para el sistema estudiado se obtienen porcentajes de remoción de sólidos disueltos de 18.21%, sólidos suspendidos 62.48% y sólidos totales 32.89%. Valores que podrían estar directamente relacionados la porosidad del estrato utilizado. Los niveles de concentración logrados con el sistema de tratamiento no

cumplen con los límites máximos permisibles de vertimientos a cuerpos de aguas presentados en la legislación (Ver Anexo 1), aun así los porcentajes de remoción son buenos haciendo este sistema ideal como tratamiento secundario de este tipo de efluentes industriales, existiendo la necesidad de llevar acabo tratamientos químicos preliminares.

- IV. El porcentaje medio de reducción de conductividad es 18.91 %, resultado que se puede deber a los bajos porcentajes de disminución de metales en este tipo de sistema.
- V. Los mejores resultados de este sistema de tratamiento fueron la neutralización de pH, llegando en todos los muestreos a valores de pH muy cercanos a 7. Funcionando este como un sistema tampón muy efectivo en la neutralización de pH.
- VI. En la remoción del cianuro libre, el valor promedio obtenido en el humedal se situó en 29.17%. Valor que se relaciona no solo con la porosidad del estrato sino también con la excelente capacidad de absorción y adaptación de las plantas usadas.
- VII. En la remoción de sulfuro, el valor promedio obtenido en el humedal se situó en 37.47%, disminución atribuida a la capacidad oxidante de las bacterias que se forman en el estrato utilizado.
- VIII. Los valores de reducción de metales han sido los más bajos en nuestro sistema de tratamiento lográndose porcentajes de reducción media de: cobre de 32.79% y arsénico de 11.17%. Estos metales son reducidos ya que las raíces de las plantas forman microambientes estimulando la producción bacteriana para oxidar y reducir metales transformándolos en biomasa para su desarrollo. Hay que tener en cuenta que para la disminución de contaminantes de este tipo de efluentes es indispensable un tratamientos químicos primarios y secundarios incluso podrían ser especializados para cada metal para

luego pasar a un tratamiento final terciario con este tipo de sistemas para alcanzar los valores máximos permitidos en el TULSMA (Ver, Anexo 1).

Sobre el funcionamiento y diseño

- IX. Las fluctuaciones en las concentraciones de los afluentes en los humedales, no influyen en la remoción de contaminantes por encontrarse el sistema o reactor trabajando en régimen estacionario y presentar una población microbiana suficientemente adaptada al medio y a las características del residual a tratar.
- X. Se realizó la construcción y adecuación del sistema de construcción, así como la recolección y siembra de la especie *typha latifolia*, con una buena adaptabilidad de la especie a las condiciones climáticas del lugar.
- XI. El funcionamiento del sistema ha dado resultados satisfactorios en cuanto a la remoción de contaminantes de aguas residuales provenientes de la industria de la minería sin embargo utilizándolo como un tratamiento secundario o terciario a tratamientos físico-químicos preliminares.

5.2. Recomendaciones

- I. Realizar estudios que involucren la posibilidad de utilizar variedades de plantas dentro del mismo sistema.
- II. Estudiar la posible utilización de las plantas para diferentes propósitos, después de haber realizado la cosecha.
- III. En caso de realizar trasplante de la especie empleada en el estudio (*typha latifolia*), utilizar plantas de una altura entre de 50 y 100cm, o que no hayan alcanzado su altura máxima para que sea más rápida su adaptación, así también usar un tiempo prudente de adaptación a este tipo de afluentes al sistema, para que las raíces se encarguen de estimular el medio microbiano para su posterior captura de contaminantes del agua.
- IV. Mediante un tratamiento natural se puede lograr una reducción significativa de contaminantes pudiendo llegar a ser muy efectiva, pero al ser altos los niveles de contaminantes presentes, se recomienda un tratamiento preliminar para sedimentar metales que son muy difíciles de depurar en un sistema de las características del nuestro.
- V. Se recomienda un análisis de tejidos celulares de la planta completa, para llevar a cabo una investigación de las cantidades exactas de bio-acumulación de contaminantes en la planta en cada una de sus partes.
- VI. Se recomienda un estudio en un tiempo más prolongado para determinar aspectos tales como: tiempo antes de la poda, tiempo de saturación de contaminantes en la planta y tiempo de saturación del estrato utilizado.

BIBLIOGRAFÍA

- Agua potable: El planeta en crisis*. (n.d.). Retrieved April 7, 2014, from http://www.ecoportal.net/Temas_Especiales/Agua/Agua_potable_El_planeta_en_crisis
- Álvarez García, R. (2005, March 4). *Aplicación de sistemas pasivos para el tratamiento de soluciones residuales de procesos de cianuración en minería de oro. TDR (Tesis Doctorales en Red)*. info:eu-repo/semantics/doctoralThesis. Retrieved October 22, 2013, from <http://www.tdx.cat/handle/10803/11120>
- Alvarez, R., Ordóñez, A., Loredó, J., & Younger, P. L. (2013). Wetland-based passive treatment systems for gold ore processing effluents containing residual cyanide, metals and nitrogen species. *Environmental Science. Processes & Impacts*, 15(11), 2115–2124. doi:10.1039/c3em00410d
- APHA, AWWA, & WPCF. (1992). *Métodos Normalizados para el Analisis de Aguas Potables y Residuales* (Díaz de Santos., Vol. 17). Madrid, España: Diaz de Santos S.A.
- Appleton, J. D., Williams, T. M., Orbea, H., & Carrasco, M. (2001). Fluvial Contamination Associated with Artisanal Gold Mining in the Ponce Enríquez, Portovelo-Zaruma and Nambija Areas, Ecuador. *Water, Air, and Soil Pollution*, 131(1-4), 19–39. doi:10.1023/A:1011965430757
- Boon, A G. (1985). *Report of a Visit by Members and Staff of WRc to Germany to Investigate the Root Zone Method for Treatment of Wastewater*. UK: Water Research Center.
- Breen, P F. (1990). *A mass balance methods for assessing the potential of artificial wetlands for wastewater treatment*. WaterRes.
- Brix, H. (1994). Functions of macrophytes in constructed Wetlands (pp. 71–78).

- Brix, H, & Schierup, H. (n.d.). *The use aquatic macrophytes in water pollution control*. Ambio.
- Cooper, P. F., & Boom, A. G. (1987). *The Use of Phragmites for Wastewater Treatment by the Root Zone Method: The UK Approach*. In *Aquatic plants for Water Treatment and Resource Recovery* (K. R. Reddy and W. H. Smith.). Orlando, Florida: Magnolia Pub.
- Crites, B L., Weaver, R, & Webb, J W. (1994). Influence of microbial inoculants on the bioremediation of crude oil in saltmarsh mesocosms. Presented at the In: Proceedings third Symposium on Biogeochemistry of Wetlands, Orlando, Florida, USA.
- De Jong, J. (1976). The Purification of Wastewater with the Aid of Rush or Reed Ponds In: *Biological Control of Water Pollution* (Toubier and R W Pierson., pp. 133–140). University of Pennsylvania Press.
- E.C./E.W.P.C.A. (1990). Emergent Hydrophyte Treatment Systems Contact Group, European Design and Operations Guidelines for Reed Bed Treatment Systems. Presented at the International Conference “Use of Constructed Wetlands in Water Pollution Control,” Cambridge, UK.
- Frers, C. (2008). El uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales, 11, 301–205.
- G. F. LIPROT MA. (1974). *Modern Inorganic Chemistry* (Segunda edicion.). Manchester: Head of the Chemistry Department.
- García, J. (2003). *Estudio de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales* (Tesis de diploma para Ingeniero Químico). Facultad de Ingeniería Química. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE). Gonzáles Díaz O. (Tutor), La Habana, Cuba.
- Gema Cabrera Revuelta. (2005, May). *ESTUDIO DE PROCESOS PARA LA SOLUBILIZACION Y PRECIPITACIÓN DE IONES METÁLICOS COMTAMINANTES MEDIANTE BACTERIAS AZUFRE-OXIDANTES Y SULFATO-REDUCTORAS* (Tesis Doctoral). Universidad de Cadiz, Puerto Real. Retrieved from <http://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/14723/31482880.pdf?sequence=1>

- Gessner, Robert H., Richard P., Timothy P., Kadlec, & Reaves. (2005). Wetland remediation of cyanide and hydrocarbons. *Ecological Engineering*, 25(4), 457–469. doi:10.1016/j.ecoleng.2005.07.015
- HACH COMPANY. (2000). *Manual de Analisis de Agua. DirectIndustry*. Retrieved June 17, 2014, from <http://pdfdirectindustry.es/pdf/hach-lange/manual-analisis-agua/5842-38289.html>
- Hedin, R S, & Nairn R W. (1993). Contaminant removal capabilities of Wetlands constructed to treat coal mine drainage (pp. 187–195). Presented at the G A Moshiri (Editor) Constructed Wetlands for water quality Improvement, Boca Raton, Florida, USA: Lewis Publishers.
- Kadlec, R H. (1994). Overview: Surface flow constructed Wetlands (pp. 1–12.). Presented at the Proceedings 4th International Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control, Guangzhou, China: IAWQ.
- Kadlec, R. H, & Knight, R. L. (1996). Treatment Wetlands. Lewis Publishers.
- Lane, P A. (1995). Managing pollution impacts on surface waters. Presented at the Sustainable Development Planning for Urban Sanitation With Special Reference to the Almendares River, Havana, Cuba.
- Mariuxi Del Cisne Jaramillo Jumbo, & Edison Dario Flores Campoverde. (2012). *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemma Minor (Lenteja de agua), Eichorinia crassipies (jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera*. (Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Ambiental). Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca.
- Martin, M I. (1989). Depuración de aguas con plantas emergentes. Ciudad Universitaria 28040 Madrid.
- Metcalf and Eddy, Inc. (1988). Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse.
- Ministerio del Ambiente. (n.d.). *TULSMA: Libro VI Anexo I*. Ecuador.
- Mitchell, D. S. (1978). The potential for wastewater treatment by aquatic plants in Australia. *Water, Australia*, 5(3), 15–17.
- Moorheard, K K, & Reddy K R. (n.d.). Oxygen Transport Through Selected Aquatic Macrophytes: *J Environ Qual* 17: 138.

- Ramírez, A. V. (2010). Toxicidad del cianuro: Investigación bibliográfica de sus efectos en animales y en el hombre. *Anales de La Facultad de Medicina*, 71(1), 54–61.
- Reed, S C, Middlebrooks, E J, Crites, R W, & Sherwood, C. (1988). *Natural Systems for Waste Management and Treatment*. New York: McGraw Hill, Inc.
- Rodríguez, C. (1997). *Tesis de Doctorado: Uso de las plantas acuáticas en la depuración de las aguas residuales domésticas*.
- Seidel, K. (1976). Macrophytes and water purification (pp. 109–121). Presented at the J Tourbier and R W Pierson (Ed) Biological Control of Water Pollution University of Pennsylvania, USA.
- Steiner, G R. (1993). Construction and Operation Guidelines for small Constructed Wetlands Wastewater Treatment systems.
- Tchobanoglous, G. (1987). Aquatic Plants Systems for Wastewater Treatment: Engineering Consideration. Presented at the Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery, Orlando, Florida: Magnolia Pub.
- Typha latifolia*, Espadaña. (n.d.). *Naturaleza y turismo*. Retrieved May 18, 2014, from <http://www.asturnatura.com/especie/typha-latifolia.html>
- USEPA. (1988). *Subsurface flow constructed Wetlands for wastewater treatment: a technology assessment office of water*. USEPA 832-R_93-008.

ANEXOS

Anexo 1. Límites máximos permisibles (TULSMA)

Tabla de límites máximos permisibles en la legislación del TULSMA, para descargas a cuerpos de agua dulce (Ministerio del Ambiente, n.d.).

Toda descarga a un cuerpo de agua dulce, deberá cumplir con los valores establecidos a continuación (ver tabla 12).

TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	NO DETECTABLE
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
	ECC		
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Sulfatos	$\text{SO}_4^{=}$	mg/l	1000
Sulfitos	SO_3	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

* La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.

Anexo 2. Registro fotográfico

Foto 5. Ingreso del agua al sistema mediante manguera en forma de



Foto: Juan Pesántez Vallejo

Foto 6. Etiquetado de muestras

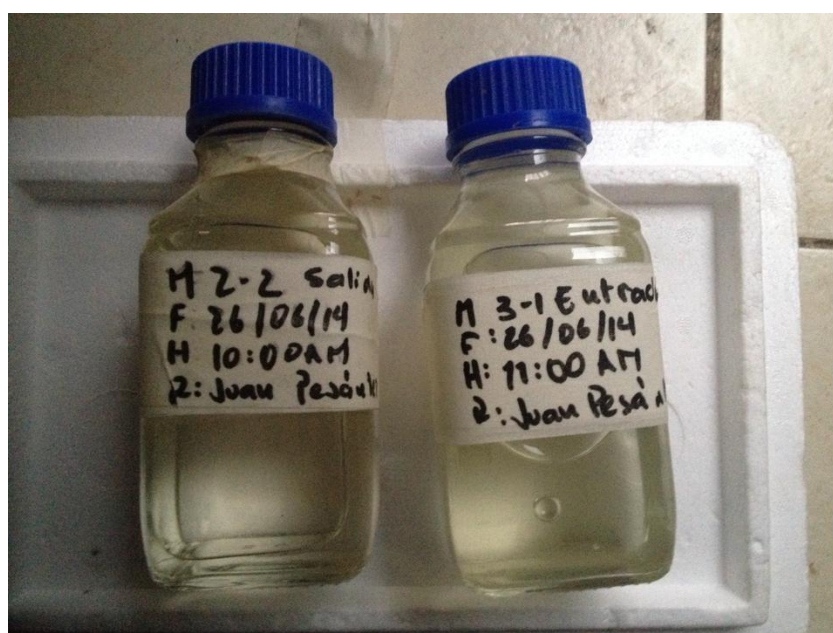


Foto: Juan Pesántez Vallejo

Foto 7. Recolección de muestras a la entrada



Foto: Juan Pesántez Vallejo

Foto 8. Recolección de muestras a la salida



Foto: Juan Pesántez Vallejo

Foto 9. Vista frontal del sistema de tratamiento



Foto: Juan Pesántez Vallejo

Foto 10. Manguera para transporte de agua de la bomba al humedal



Foto: Juan Pesántez Vallejo

Foto 11. Tanque de almacenamiento de afluentes para tratamiento



Foto: Juan Pesántez Vallejo

Anexo 3. Resultados de análisis de laboratorio

Foto 12. Resultados de los análisis: entrada primer muestreo, entrada segundo muestreo



Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: Juan Pesantez Código 1445
Lugar de la toma de muestra:
Tipo de agua: AGUA RESIDUAL DE MINAS DE EXTRACCIÓN DE ORO
Dirección:
Teléfono:
Fecha de la toma: 13/06/2014
Fecha del análisis: 14/06/2014

MUESTRA 1-1 E

PARÁMETRO	VALOR HALLADO	UNIDADES	Definición de UNIDADES expresadas como
1 Conductividad	2,57	mS/cm	Mili-siemens/cm
2 Sólidos disueltos Totales SDT.	1437	mg/L	miligramos/litro
3 Sólidos suspendidos Totales	1320	mg/L	miligramos/litro
4 Sólidos Totales	2757	mg/L	miligramos/litro
5 Sólidos sedimentables	0,01	ml/L	mililitros/litro
6 pH	10	unidades	Unidades de pH
7 Cianuro Libre	0,3	mg/l	miligramos /litro NC ⁻¹
8 Sulfuro	3	mg/l	miligramos /litro S ⁻²
9 Cobre	238	mg/l	miligramos / litro Cu
10 Arsénico	762	mg/l	miligramos / litro As

Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg y siguiendo los proceso de Estándar Métodos

MUESTRA M2-1 ENTRADA

Código 1446
ANÁLISIS
DEL
16/06/2014

PARÁMETRO	VALOR HALLADO	UNIDADES	Definición de UNIDADES expresadas como
1 Conductividad	3,22	mS/cm	Mili-siemens/cm
2 Sólidos disueltos Totales SDT.	1856	mg/L	miligramos/litro
3 Sólidos suspendidos Totales	1260	mg/L	miligramos/litro
4 Sólidos Totales	3116	mg/L	miligramos/litro
5 Sólidos sedimentables	0,01	ml/L	mililitros/litro
6 pH	9,32	unidades	Unidades de pH
7 Cianuro Libre	0,075	mg/l	miligramos /litro NC ⁻¹
8 Sulfuro	3,6	mg/l	miligramos /litro S ⁻²
9 Cobre	242	mg/l	miligramos / litro Cu
10 Arsénico	760	mg/l	miligramos / litro As

Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg y siguiendo los proceso de Estándar Métodos

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS


Dr. Giovanni Larriva
Analista Responsable

Fuente: Laboratorio de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas

Foto 13. Resultados de los análisis: salida primer muestreo



Facultad de Ciencias Químicas
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS

Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: JUAN PESANTEZ Código 1447
 Lugar de la toma de muestra: AGUA RESIDUAL DE MINAS DE EXTRACCIÓN DE ORO
 Tipo de agua:
 Dirección:
 Teléfono:
 Fecha de la toma: 16/06/2014
 Fecha del análisis: 17/06/2014

MUESTRA M1 -2 SALIDA

PARÁMETRO	VALOR HALLADO	UNIDADES	Definición de UNIDADES expresadas como
1 Conductividad	1726	US/cm	Micro-siemens/cm
2 Sólidos disueltos Totales SDT.	968	mg/L	miligramos/litro
3 Sólidos suspendidos Totales	823	mg/L	miligramos/litro
4 Sólidos Totales	1791	mg/L	miligramos/litro
5 Sólidos sedimentables	0,03	ml/L	mililitros/litro
6 pH	6,970	unidades	Unidades de pH
7 Cianuro Libre	0,25	mg/l	miligramos /litro NC ⁻¹
8 Sulfuro	1.6	mg/l	miligramos /litro S ⁻²
9 Cobre	168	mg/l	miligramos / litro Cu
10 Arsénico	753	mg/l	miligramos / litro As

Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg y siguiendo los proceso de Estándar Métodos

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS



Dr. Giovanni Larriva
Analista Responsable

Fuente: Laboratorio de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas

Foto 14. Resultados de los análisis: salida segundo muestreo, entrada tercer muestreo

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867Facultad de Ciencias Químicas
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS

Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: Juan Pesantez Código 1448
 Lugar de la toma de muestra: AGUA RESIDUAL DE MINAS DE EXTRACCIÓN DE ORO
 Tipo de agua:
 Dirección:
 Teléfono:
 Fecha de la toma: 24/06/2014
 Fecha del análisis: 26/06/2014

MUESTRA M-2-2 salida

PARÁMETRO	VALOR HALLADO	UNIDADES	Definición de UNIDADES expresadas como
1 Conductividad	2,57	mS/cm	Mili-siemens/cm
2 Sólidos disueltos Totales SDT.	1406	mg/L	miligramos/litro
3 Sólidos suspendidos Totales	320	mg/L	miligramos/litro
4 Sólidos Totales	1726	mg/L	miligramos/litro
5 Sólidos sedimentables	0,001	ml/L	mililitros/litro
6 pH	6,85	unidades	Unidades de pH
7 Cianuro Libre	0,05	mg/l	miligramos /litro NC^{-1}
8 Sulfuro	2,8	mg/l	miligramos /litro S^{-2}
9 Cobre	223	mg/l	miligramos / litro Cu
10 Arsénico	730	mg/l	miligramos / litro As

Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg y siguiendo los proceso de Estándar Métodos

MUESTRA M3-1 ENTRADA

Código 1449
 ANÁLISIS
 DEL
 26/06/2014

PARÁMETRO	VALOR HALLADO	UNIDADES	Definición de UNIDADES expresadas como
1 Conductividad	3,20	mS/cm	Mili-siemens/cm
2 Sólidos disueltos Totales SDT.	1897	mg/L	miligramos/litro
3 Sólidos suspendidos Totales	760	mg/L	miligramos/litro
4 Sólidos Totales	2657	mg/L	miligramos/litro
5 Sólidos sedimentables	0,001	ml/L	mililitros/litro
6 pH	8,65	unidades	Unidades de pH
7 Cianuro Libre	0,03	mg/l	miligramos /litro NC^{-1}
8 Sulfuro	3,6	mg/l	miligramos /litro S^{-2}
9 Cobre	216	mg/l	miligramos / litro Cu
10 Arsénico	745	mg/l	miligramos / litro As

Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg y siguiendo los proceso de Estándar Métodos

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS


 Dr. Giovanni Larriba
 Analista Responsable

Fuente: Laboratorio de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas

Foto 15. Resultados de los análisis: salida tercer muestreo, entrada cuarto muestreo

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867Facultad de Ciencias Químicas
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS

Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: JUAN PESANTEZ Código 1450
 Lugar de la toma de muestra:
 Tipo de agua: AGUA RESIDUAL DE MINAS DE EXTRACCIÓN DE ORO
 Dirección:
 Teléfono:
 Fecha de la toma: 26/06/2014
 Fecha del análisis: 30/06/2014

MUESTRA M3-2 SALIDA

PARÁMETRO	VALOR HALLADO	UNIDADES	Definición de UNIDADES expresadas como
1 Conductividad	2,56	mS/cm	Mili-siemens/cm
2 Sólidos disueltos Totales SDT.	1602	mg/L	miligramos/litro
3 Sólidos suspendidos Totales	123	mg/L	miligramos/litro
4 Sólidos Totales	1755	mg/L	miligramos/litro
5 Sólidos sedimentables	0,001	ml/L	mililitros/litro
6 pH	7,007	unidades	Unidades de pH
7 Cianuro Libre	0,028	mg/l	miligramos /litro NC ⁻¹
8 Sulfuro	1.64	mg/l	miligramos /litro S ⁻²
9 Cobre	238	mg/l	miligramos / litro Cu
10 Arsénico	660	mg/l	miligramos / litro As

Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg y siguiendo los proceso de Estándar Métodos

MUESTRA M4-1 ENTRADA

Código 1451
 ANÁLISIS
 DEL
 30/06/2014

PARÁMETRO	VALOR HALLADO	UNIDADES	Definición de UNIDADES expresadas como
1 Conductividad	3,19	mS/cm	Mili-siemens/cm
2 Sólidos disueltos Totales SDT.	2,04	g/L	gramos/litro
3 Sólidos suspendidos Totales	553	mg/L	miligramos/litro
4 Sólidos Totales	2593	mg/L	miligramos/litro
5 Sólidos sedimentables	0,002	ml/L	mililitros/litro
6 pH	9,021	unidades	Unidades de pH
7 Cianuro Libre	0,316	mg/l	miligramos /litro NC ⁻¹
8 Sulfuro	3,73	mg/l	miligramos /litro S ⁻²
9 Cobre	762	mg/l	miligramos / litro Cu
10 Arsénico	786	mg/l	miligramos / litro As

Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg y siguiendo los proceso de Estándar Métodos

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS

Dr. Giovanni Larriba

Analista Responsable

Fuente: Laboratorio de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas

Foto 16. Resultados de los análisis: entrada cuarto muestreo, entrada quinto muestreo

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867Facultad de Ciencias Químicas
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS

Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: JUAN PESANTEZ Código 1452
 Lugar de la toma de muestra: AGUA RESIDUAL DE MINAS DE EXTRACCIÓN DE ORO
 Tipo de agua:
 Dirección:
 Teléfono:
 Fecha de la toma: 01/07/2014
 Fecha del análisis: 01/07/2014

MUESTRA M4-2 SALIDA

PARÁMETRO	VALOR HALLADO	UNIDADES	Definición de UNIDADES expresadas como
1 Conductividad	3,24	mS/cm	Mili-siemens/cm
2 Sólidos disueltos Totales SDT.	1746	mg/L	miligramos/litro
3 Sólidos suspendidos Totales	320	mg/L	miligramos/litro
4 Sólidos Totales	2066	mg/L	miligramos/litro
5 Sólidos sedimentables	0,02	ml/L	mililitros/litro
6 pH	7,3	unidades	Unidades de pH
7 Cianuro Libre	0,03	mg/l	miligramos /litro NC ⁻¹
8 Sulfuro	1,57	mg/l	miligramos /litro S ⁻²
9 Cobre	518	mg/l	miligramos / litro Cu
10 Arsénico	572	mg/l	miligramos / litro As

Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg y siguiendo los proceso de Estándar Métodos

MUESTRA M5-1 ENTRADA

Código 1453
 ANÁLISIS
 DEL
 01/07/2014

PARÁMETRO	VALOR HALLADO	UNIDADES	Definición de UNIDADES expresadas como
1 Conductividad	2,67	mS/cm	Mili-siemens/cm
2 Sólidos disueltos Totales SDT.	1406	mg/L	gramos/litro
3 Sólidos suspendidos Totales	620	mg/L	miligramos/litro
4 Sólidos Totales	2026	mg/L	miligramos/litro
5 Sólidos sedimentables	0,3	ml/L	mililitros/litro
6 pH	9,843	unidades	Unidades de pH
7 Cianuro Libre	0,5	mg/l	miligramos /litro NC ⁻¹
8 Sulfuro	0,229	mg/l	miligramos /litro S ⁻²
9 Cobre	585	mg/l	miligramos / litro Cu
10 Arsénico	645	mg/l	miligramos / litro As

Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg y siguiendo los proceso de Estándar Métodos

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS


 Dr. Giovanni Larriva
 Analista Responsable

Fuente: Laboratorio de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas

Foto 17. Resultados de los análisis: salida segundo muestreo

UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

Facultad de Ciencias Químicas

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS

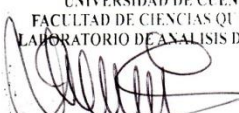
Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: JUAN PESANTEZ Código: 1455
 Lugar de la toma de muestra: MUESTRA M5-2
 Tipo de agua: AGUA RESIDUAL DE MINAS DE EXTRACCIÓN DE ORO
 Dirección:
 Teléfono:
 Fecha de la toma: 04/07/2014
 Fecha del análisis: 04/07/2014

MUESTRA M5-2

	PARÁMETRO	VALOR HALLADO	UNIDADES	Definición de UNIDADES expresadas como
1	Conductividad	2,6	mS/cm	Mili-siemens/cm
2	Sólidos disueltos Totales SDT.	1347	mg/L	miligramos/litro
3	Sólidos suspendidos Totales	160	mg/L	miligramos/litro
4	Sólidos Totales	1407	mg/L	miligramos/litro
5	Sólidos sedimentables	0,001	ml/L	mililitros/litro
6	pH	7,581	unidades	Unidades de pH
7	Cianuro Libre	0,2	mg/l	miligramos /litro NC ⁻¹
8	Sulfuro	0,215	mg/l	miligramos /litro S ⁻²
9	Cobre	223	mg/l	miligramos / litro Cu
10	Arsénico	567	mg/l	miligramos / litro As

Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg y siguiendo los proceso de Estándar Métodos

UNIVERSIDAD DE CUENCA
 FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS

 Dr. Giovanni Larriva
 Analista Responsable

Fuente: Laboratorio de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas